ouvrages ROUTIERS
Guides et manuels

Manuel de construction et de réparation des structures






Québec

Transports Québec

ouvrages ROUTIERS
Guides et manuels

Manuel de construction et de réparation des structures

Québec

MANUEL DE CONSTRUCTION ET DE RÉPARATION DES STRUCTURES

Février 2019

Québec

Cette publication a été réalisée par la Direction générale des structures et éditée par
la Direction des normes et des documents d'ingénierie du ministère des Transports du Québec.

La version électronique est disponible à l'adresse suivante :
http://www3.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/produits/ouvrage_routier.fr.html

Pour obtenir des renseignements, on peut :

- composer le 511 (au Québec) ou le 1 888 355-0511 (partout en Amérique du Nord)
- consulter le site Web du ministère des Transports du Québec au www.transports.gouv.qc.ca
- écrire à l'adresse suivante : Direction des communications
  Ministère des Transports du Québec
  500, boul. René-Lévesque Ouest, bureau 4.010
  Montréal (Québec) H2Z 1W7

© Gouvernement du Québec, février 2019

ISBN 978-2-551-26407-0 (PDF)

Dépôt légal – 2019
Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Tous droits réservés pour tous pays. La reproduction par quelque procédé que ce soit et
la traduction, même partielles, sont interdites sans l'autorisation des Publications du Québec.

REMERCIEMENTS

Cet ouvrage a été, depuis sa première parution jusqu'à maintenant, une mise en commun de connaissances et d'expériences de nombreuses personnes travaillant ou ayant travaillé tant à la Direction générale des structures qu'à l'extérieur du Ministère. Nous tenons à souligner leur contribution.

À moins d'une autorisation écrite par la Direction générale des structures du ministère des Transports, l'utilisation de ce document à des fins d'enseignement est interdite. Par ailleurs, il est possible qu'un Info-structures de la Direction générale des structures soit diffusé pour apporter des modifications ou des précisions au contenu avant une mise à jour ou une nouvelle édition.

Transports Québec

Direction générale des structures

INSTRUCTIONS DE MISE À JOUR

DOCUMENT MODIFIÉ	Date : Février 2019
Manuel de construction et réparation des structures	Version : Nouvelle édition

Veuillez trouver ci-joint les plus récentes modifications apportées au manuel. Bien vouloir retirer les pages actuelles et les remplacer par les pages révisées.

SECTION	RETIRER Page	AJOUTER Page	REMARQUES
Généralités			Actualisation du nombre d'années d'expérience exigé pour le personnel de surveillance. Précisions sur le poids des équipements de chantiers permis lors de travaux. Modification du texte sur l'ancrage des glissières de béton pour chantier.
Chapitre 1 Démolition des ouvrages existants			Bonification du rôle du surveillant lors de la démolition complète. Ajout d'une référence aux vitesses permises pour le contrôle des vibrations lors de la démolition. Mise à jour du tableau des marteaux autorisés en fonction de l'énergie de choc. Ajout des notions en lien avec la réunion préalable à la démolition. Ajout d'indications pour la réparation d'écorchures mineures sur les poutres en acier à la suite de la démolition du béton d'une dalle.
Chapitre 2 Fondations			Ajout de suggestions en cas de difficultés de fonçage des palplanches. Ajustement des hauteurs de fiches minimales pour les murs de soutènement.
Chapitre 3 Pieux			Ajout de précisions sur ce que devraient contenir les plans d'atelier des pieux caissons. Bonification du texte sur le marteau hydraulique pour le battage, retrait des textes sur les marteaux diesel ou à air ou à vapeur.

Chapitre 4 Ouvrages en béton			Bonification sur le scellement des pieux caissons et des possibilités de correction d'un scellement inadéquat. Modification du texte pour inciter à effectuer les forages de contrôle avant le forage des tubes. Bonification du texte décrivant les étapes de l'inspection par caméra de l'emboîture. Ajustement du nombre de tubes pour les essais CSL avec le diamètre des pieux. Bonification du texte sur les matériaux – description sommaire des types de béton les plus utilisés au Ministère. Ajout de texte pour décrire l'ajustement de l'exigence de la teneur en air à la suite des pertes ou gains en air observés à l'essai de convenance. Bonification sur l'essai de convenance et les éléments placés sur la ligne de pompage. Ajout de texte concernant les cônes de plastique de plus de 50mm pour les tirants de coffrage. Précisions sur l'utilisation des ancrages en acier inoxydable pour les coffrages des glissières de béton. Ajout de précisions sur la réalisation des chanfreins. Modification du texte concernant le décoffrage et la poursuite de la cure lorsque le décoffrage est effectué avant la fin de la période de cure. Ajout du diamètre nominal des barres dans le tableau décrivant les propriétés des armatures. Actualisation du marquage sur les armatures de la compagnie ArcelorMittal. Bonification du texte sur les tolérances de pliage des armatures. Bonification du texte concernant la présence de rouille sur les armatures. Ajout de texte sur la modification des barres d'armature et l'importance de recourir au concepteur dans certains cas. Ajout de notions d'exceptions sur le soudage des armatures en chantier.

			Ajout de notions sur l'utilisation de pavés pour le support des cages d'armatures au sol. Ajout des cales avec patin pour les pieux caissons dans la description des cales de plastique. Retrait de l'exemple de calcul des armatures additionnelles pour goussets et modification du texte pour référer au concepteur. Ajout de la notion de marquage des barres d'armatures en attente des chasse-roues et glissières pour guider la finition manuelle des abords de dalle. Bonification du texte sur les ancrages pour l'utilisation des pistons d'injection . Bonification du texte concernant l'interdiction de la circulation sur le béton frais jusqu'à l'atteinte de 70 % de f'c. Ajout de notions sur le dispositif étrangleur et le boyau flexible plat lors de la mise en place par pompage. Bonification sur les démarcations de coulée et les hauteurs de levées en fonction de la vibration. Ajout de texte sur l'opération de la finisseuse automotrice suivant le biais pour les ponts en biais. Bonification du texte sur les goussets négatifs des ponts existants et les mesures à prendre pour les éviter. Ajout de texte sur l'utilisation de vibrateurs de plus petite taille pour les zones de ferraillage intense. Ajout de précisions sur la vérification du profil des dalles et l'utilisation de la règle de 3 m. Bonification du texte sur la cure à l'eau; importance de la feuille imperméable et avertissements sur l'utilisation de l'eau venant de cours d'eau. Ajout de précisions quant à l'application de l'humidification continue préalable à la cure pour les surfaces autres que les dalles et trottoirs. Ajout de mises en garde sur l'utilisation de produits à base de bitume pour la correction des surfaces de dalles non conformes.

			Ajout de nombreuses précisions sur le bétonnage par temps froid; mesure des températures à l'intérieur des abris, mesure des températures de la surface du béton, utilisation des thermocouples. Ajout de précisions sur le bétonnage sous l'eau des pieux caissons, sur la remontée progressive de la ligne de pompage. Ajout d'arbres décisionnels pour déterminer le type de protection par temps froid à appliquer.
Chapitre 5 Béton projeté			Retrait de la description des mélanges de béton des fournisseurs et ajout d'un nouveau fournisseur.
Chapitre 6 Précontrainte			Retrait des notions de la précontrainte extérieure utilisée autrement que pour les renforcements. Correction du texte concernant le traitement de la valeur de la rentrée d'ancrage mesurée en lien avec la conformité de l'allongement total mesuré. Ajout de précisions quant au bétonnage des diaphragmes au-dessus des piles dans les ponts à travées continues.
Chapitre 7 Ouvrages en acier et en aluminium			Ajout de texte sur l'importance de référer au concepteur concernant la méthode de fabrication choisie pour les ponts en biais. Ajout de notions sur le soudage de type FCAW et MCAW et son utilisation au chantier. Ajout d'un ordre du jour type pour la réunion préalable à la fabrication et bonification du texte concernant cette réunion. Ajout des notions de deuxième autorisation de livraison dans le cas des pièces d'acier revêtues.
Chapitre 8 Ouvrages en bois			Précision sur la réutilisation des pièces de bois pour les blocs écarteurs des glissières GTOG. Ajout de précisions sur l'attestation de conformité de la quincaillerie. Ajout de précisions sur le contrôle de réception des boulons et les allègements par rapport aux ouvrages en acier. Ajout de précisions sur l'ajustement de la verticalité des cages de bois des ponts.

			Ajout de précisions sur l'utilisation des platelages avec madriers à 45 degrés. Correction du texte sur l'utilisation des blocs écarteurs biseautés sur les glissières des ponts avec biais.
Chapitre 9 Équipements			Ajout des notions d'excavation temporaire à l'arrière des joints dalle en vue du levage d'un tablier. Ajout de précisions sur le soudage des plaques d'appui aux poutres; taille des cordons et moment de réalisation de ceux-ci. Retrait du texte concernant les outils fournis avec le joint de tablier pour la pose de la garniture. Précisions sur la fourniture des plans d'atelier des dispositifs de retenue en acier et la signature d'ingénieur, lorsque requis. Retrait de la liste des fabricants usuels de dispositifs de retenue en acier.
Chapitre 10 Membrane d'étanchéité et membrane autocollante pour joints			Intégration de la norme 3702 du Tome VII pour la membrane autocollante pour joints. Bonification du texte pour l'utilisation de la mini-macaden sur l'ensemble d'une dalle de petite surface.
Chapitre 11 Revêtement en enrobé			Intégration du compactage par oscillation dans le texte. Bonification du texte sur l'utilisation du remblai sans retrait. Ajout de précisions sur les conditions météorologiques de pose d'enrobé et l'influence sur le comportement de la membrane d'étanchéité.
Chapitre 12 Murs de soutènement homologués			Ajustement du texte sur les exigences de conception pour tenir compte des critères du tome III pour les hauteurs de fiche. Ajustement du texte sur les matériaux pour tenir compte des nouveaux critères permis pour les matériaux granulaires des murs avec inclusions. Ajout des exigences de délai pour la tenue de la réunion préalable à la fabrication.
Chapitre 13 Ponceaux préfabriqués			Ajout de texte concernant la soudure des ponceaux en tôle.

			Ajout des exigences de délai pour la tenue de la réunion préalable à la fabrication. Ajout de texte pour insister sur l'importance de l'implication du représentant du fournisseur au chantier.
Chapitre 14 Galvanisation, métallisation et peinturage			Refonte complète du chapitre, importation de plusieurs notions en provenance du Guide de peinturage des charpentes métalliques.
Chapitre 15 Dispositions diverses			Ajout de texte sur les limites de vibration établies pour les travaux et la référence faite à la section 11 du CCDG pour les travaux à l'explosif. Ajout de texte sur l'exigence de protection des surfaces de béton contre le déversement de matières huileuses. Ajout de texte sur les exigences de mise en place de descentes de drainage temporaires et de garnitures temporaires pour les joints de tablier.

Responsable du document : Bernard Pilon

MANUEL DE CONSTRUCTION
ET DE RÉPARATION DES STRUCTURES

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos

Généralités

Chapitre 1 Démolition des ouvrages existants

Chapitre 2 Fondations

Chapitre 3 Pieux

Chapitre 4 Ouvrages en béton

Chapitre 5 Béton projeté

Chapitre 6 Précontrainte

Chapitre 7 Ouvrages en acier et en aluminium

Chapitre 8 Ouvrages en bois

Chapitre 9 Équipements

Chapitre 10 Membrane d’étanchéité et membrane autocollante pour joints

Chapitre 11 Revêtement en enrobé

Chapitre 12 Murs de soutènement homologués

Chapitre 13 Ponceaux préfabriqués

Chapitre 14 Galvanisation, métallisation et peinturage

Chapitre 15 Dispositions diverses

AVANT-PROPOS

Le Manuel de construction et de réparation des structures, édition janvier 2019, est un recueil de connaissances sur la surveillance technique des travaux réalisés sur les ouvrages d'art. Le présent manuel est une nouvelle édition du Manuel de construction et de réparation des structures, édition janvier 2016. Cette édition tient compte des modifications apportées au cours des dernières années aux documents contractuels.

Le manuel doit être utilisé de concert avec le Cahier des charges et devis généraux « Infrastructures routières – Construction et réparation » (CCDG), édition 2019 et les devis types de 2019.

Le contenu du manuel se concentre surtout sur la mise en œuvre et il n'aborde que sommairement les matériaux et l'assurance de la qualité; le paiement des ouvrages exécutés est, quant à lui, pratiquement absent. Mentionnons que les matériaux sont sous la responsabilité de la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère alors que l'assurance qualité et le paiement des ouvrages relèvent de la Direction des normes et des documents d'ingénierie du Ministère; cette dernière publie à cet effet le Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport.

Le manuel a été rédigé à l'intention du surveillant et de son représentant technique au chantier (le représentant du surveillant). Le contenu du manuel est orienté sur le « pourquoi et le comment des choses » afin d'aider le surveillant à comprendre ce qui sous-tend les exigences des documents contractuels lui permettant ainsi de mieux vérifier que celles-ci sont effectivement respectées. Le manuel a également pour objet d'uniformiser le plus possible l'application des exigences contractuelles par les directions générales territoriales; cette uniformisation est de nature à faciliter le travail du surveillant et de l'entrepreneur, puisque ce dernier réalise généralement des travaux dans plus d'une direction générale territoriale.

Ce manuel, tout comme le CCDG, couvre tous les travaux courants réalisés sur les ouvrages d'art du ministère des Transports, y compris la plupart des travaux d'entretien; il n'englobe donc pas les ouvrages non courants ou les situations particulières.

Étant donné que le contenu du manuel a été développé en supposant que le surveillant a des notions de base en ingénierie des ponts, toutes les exigences ne sont pas abordées de la même façon. Certaines ne sont qu'effleurées parce qu'elles sont claires en elles-mêmes alors que d'autres sont traitées plus en détail en raison de leur plus grande complexité.

Afin de faciliter la consultation du manuel, la table des matières reproduit fidèlement l'ordre des sous-sections de la section 15 du CCDG. Par exemple, le chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel couvre l'article 15.4 « Ouvrages en béton » du CCDG.

Un aide-mémoire, synthétisant l'information pertinente, a été ajouté à la fin de chaque chapitre; il résume les actions que doivent prendre l'entrepreneur et le surveillant tout au long du déroulement des travaux. Bien qu'il puisse être utilisé comme une liste de « choses à faire », il ne remplace pas les documents contractuels et le présent manuel, auxquels il faut se référer en cas de doute. Le surveillant peut imprimer les aide-mémoire nécessaires aux travaux et les conserver sur soi pour référence rapide.

Des photos ont été ajoutées à la fin des chapitres afin de visualiser les principaux équipements employés au chantier ainsi que certaines phases des travaux. Quelques figures ont aussi été insérées à la fin de cet avant-propos pour permettre aux nouveaux surveillants de se familiariser avec la terminologie dont on se sert pour désigner les éléments usuels d'une structure.

Il est important de souligner que les formes verbales conjuguées « doit » et « doivent » sont employées pour exprimer une exigence qui doit être respectée pour se conformer aux documents contractuels. Les formes verbales « il est recommandé » ou « devrait » sont, quant à elles, utilisées pour exprimer une règle de bonne pratique qu'il convient de respecter sans toutefois être obligatoire.

En plus d'aider le surveillant dans son travail, le contenu de ce manuel vise également à faciliter ses relations avec l'entrepreneur. En effet, le surveillant pourra y puiser toute l'information nécessaire pour, au besoin, expliquer à l'entrepreneur l'importance de telle ou telle exigence. Le contenu de ce manuel permettra aussi au surveillant de prendre plus rapidement les meilleures décisions possible et de faire preuve d'un jugement plus sûr, sans réduire la capacité ou la durabilité de l'ouvrage, à la suite des aléas qui ne manqueront pas de se présenter sur le chantier.

Ce manuel doit être utilisé comme un guide dans l'interprétation des documents contractuels et il ne doit en aucun cas s'y substituer. Le surveillant ne doit pas hésiter à communiquer avec le concepteur pour tout problème technique pouvant entraîner une modification au sujet de la conception de l'ouvrage ou de la réalisation de certaines phases de travaux qui lui semblent particulièrement critiques.

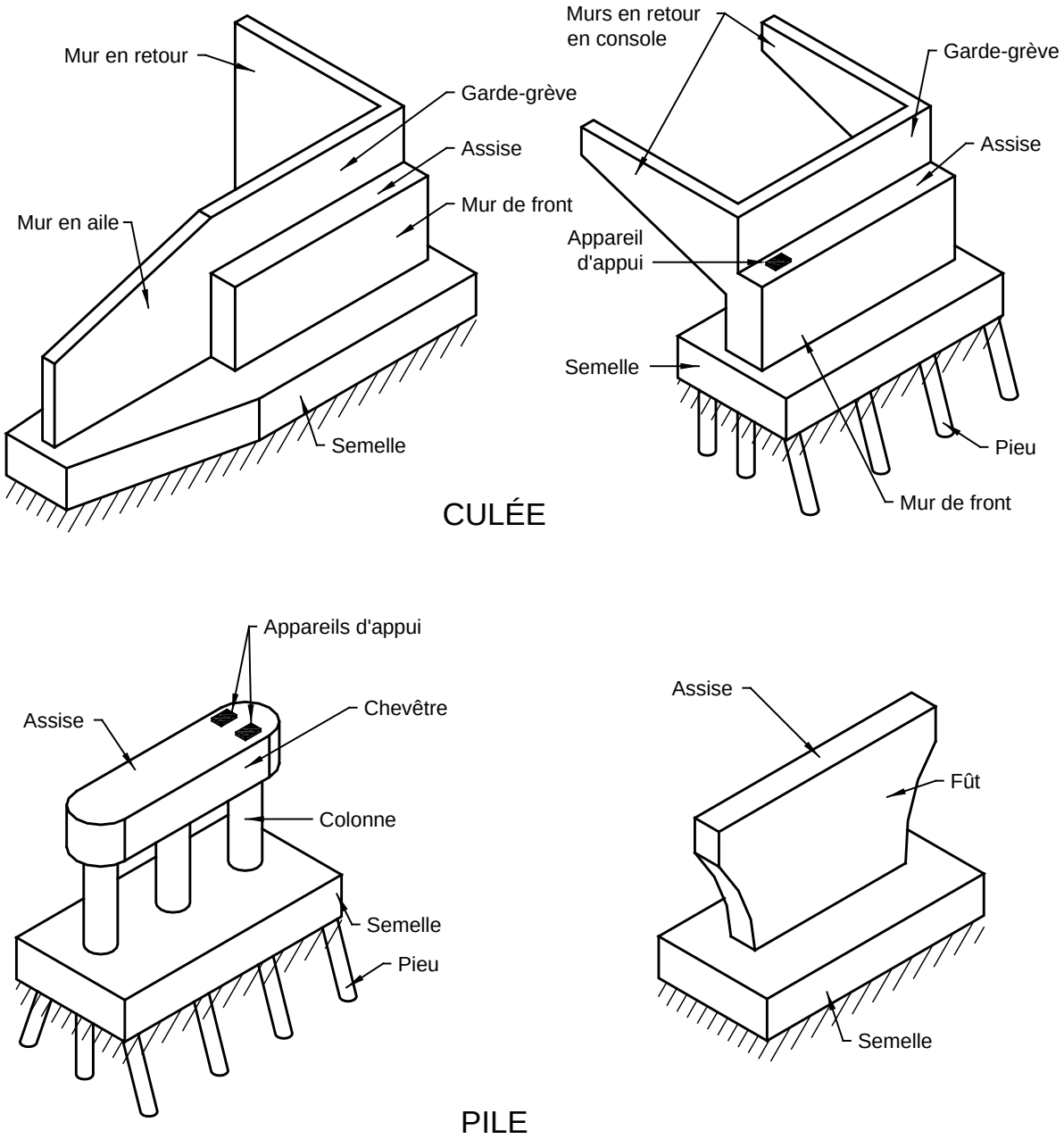
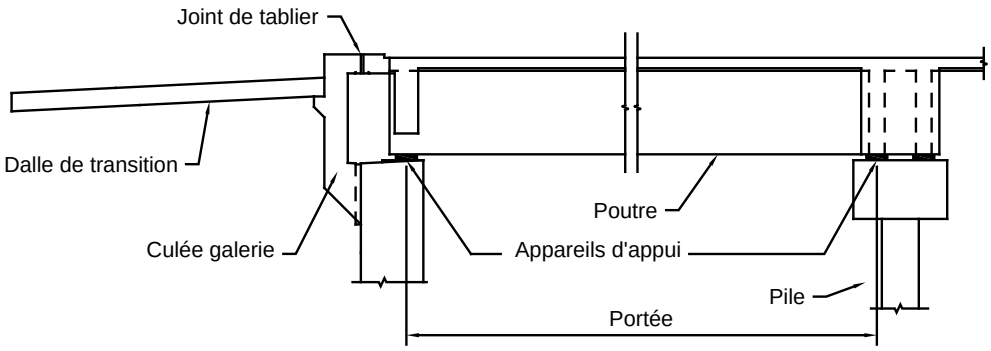
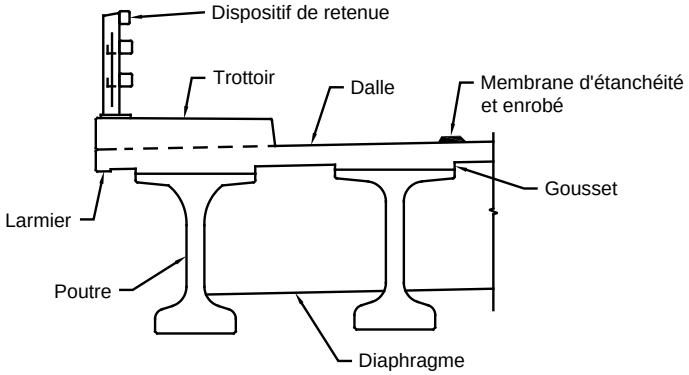


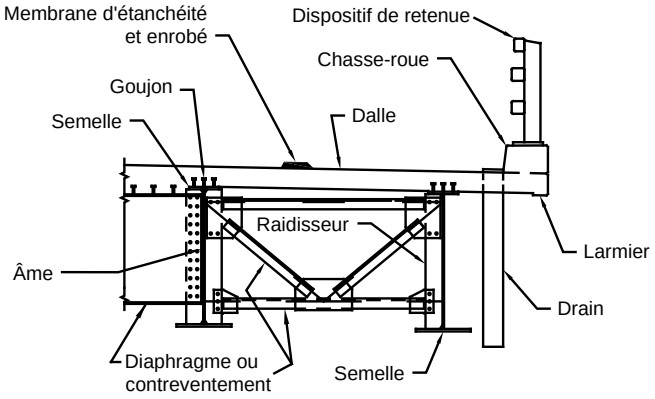
Figure 1 Terminologie – unités de fondation en béton armé



Élévation



Tablier à poutres préfabriquées en béton précontraint



Tablier à poutres en acier

Figure 2 Terminologie – pont avec poutres

GÉNÉRALITÉS

Rôle du surveillant et de son représentant

La surveillance de chantier représente plus que la connaissance des plans, des devis, du CCDG et des normes. Bien que cette connaissance soit essentielle, la surveillance est aussi une activité d'intégration d'intérêts, ceux d'un propriétaire et d'un entrepreneur, qui peuvent être légitimement différents; par contre, ces derniers doivent travailler en partenariat pour réaliser les travaux de façon adéquate.

Le surveillant (et son représentant technique), qui représente le propriétaire sur le chantier, a l'importante responsabilité de veiller à ce que les travaux soient réalisés en conformité avec les exigences techniques et financières du contrat. Il doit établir un climat de confiance et de respect mutuel avec l'entrepreneur afin que le déroulement des travaux soit le plus harmonieux possible. Ce climat est plus facile à établir lorsque le surveillant a une bonne connaissance des documents contractuels. Le surveillant doit aussi être proactif, afin de minimiser les problèmes techniques et administratifs, sans toutefois se substituer à l'entrepreneur dans la conduite des travaux. Un surveillant efficace doit savoir observer, voir et regarder pour comprendre ce que fait actuellement l'entrepreneur et ce qu'il fera demain et la semaine prochaine. Il ne doit pas hésiter à partager fréquemment ses opinions à ce sujet avec l'entrepreneur, car cette dynamique s'avère essentielle au bon déroulement des travaux.

Le surveillant peut faire part au concepteur des plans et devis de ses observations susceptibles de faciliter les travaux ou encore d'en améliorer la qualité. Il doit, de plus, analyser les problèmes et les imprévus qui peuvent survenir au cours des travaux et proposer, en accord avec le concepteur et le gérant de projet du Ministère pour toute modification ayant une incidence structurale ou monétaire, les solutions appropriées lorsque celles-ci sont du ressort du surveillant ou, dans le cas contraire, s'assurer que les autres intervenants le fassent.

Le surveillant doit coordonner ses travaux avec ceux des autres prestataires de services du Ministère (laboratoires, travaux routiers, etc.). Il doit, de plus, collaborer pleinement avec les représentants et les partenaires du Ministère impliqués dans le projet, notamment ceux des centres de services du Ministère.

Mentionnons que les documents contractuels font référence à de nombreux produits ou méthodes d'exécution. Il n'appartient pas au surveillant d'accepter de son propre chef une substitution proposée par l'entrepreneur. Le Ministère est bien conscient que certains travaux peuvent être faits différemment, mais il a établi ses exigences en se basant sur le comportement d'ouvrages construits au fil des décennies ainsi que sur des essais et des expérimentations menés de manière rigoureuse. Le surveillant doit donc normalement s'en tenir aux exigences des documents contractuels.

De plus, lorsqu'il est fait mention de tel produit ou de telle façon de faire dans les documents contractuels, cela signifie que tout autre produit ou toute autre façon de faire est d'office interdit.

Le surveillant doit passer en revue tous les documents nécessaires à la surveillance tels que :

- les documents contractuels;
- les manuels pertinents de la Direction générale des structures;
- la procédure de gestion des plans de structures;
- le *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*;
- les documents spécifiques complémentaires (rapports de l'étude géotechnique, de l'étude hydraulique, de l'étude environnementale, d'expertise de dalle et d'inspection d'affouillement ou sous-marine ainsi que les plans de construction et des modifications subséquentes de la structure à réparer).

Le surveillant doit s'assurer que chaque membre de l'équipe de surveillance connaît l'existence de ces documents et, dans le cadre de son travail, y a accès et en comprend le contenu pertinent.

Une copie des documents contractuels, du contrat de services professionnels liant le surveillant et le Ministère (lorsque la surveillance est réalisée par un prestataire de services) et les manuels pertinents produits par la Direction générale des structures du Ministère doit se trouver en tout temps au bureau de chantier.

Lorsque la surveillance est réalisée par un prestataire de services, le surveillant doit bien connaître le contenu du contrat de services professionnels liant le surveillant et le Ministère. Il doit également connaître le *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport q*ui renferme les exigences administratives visant l'équipe de surveillance. Bon nombre des exigences en matière de surveillance proviennent de ce guide et les devis de services professionnels en surveillance y réfèrent notamment en ce qui a trait aux notions concernant la présence du surveillant au chantier, la surveillance complète, l'impossibilité de déléguer, à un représentant technique non-ingénieur, certaines tâches jugées plus complexes, l'obligation de consigner au journal de chantier certaines vérifications effectuées par le surveillant et les activités en fin de contrat (notamment la réception des travaux, le relevé du profil et l'attestation de conformité).

Dans ce dernier cas, mentionnons que l'inspection et la réception des travaux doivent être coordonnées, lorsque cela est mentionné au devis spécial, avec la première inspection générale de l'ouvrage effectuée par le personnel du Ministère. Cette façon de faire permet d'assurer une transition harmonieuse de l'ouvrage entre la surveillance par le surveillant et la gestion de l'ouvrage par son propriétaire. De plus, l'utilisation d'un équipement d'accès permet au surveillant d'inspecter l'ouvrage de façon rapprochée, le

doigt sur la pièce. Les observations faites par le personnel du Ministère dans le cadre de la première inspection générale sont transmises au surveillant par l'intermédiaire du gérant de projet du Ministère.

Dès la réception de l'avis de l'entrepreneur relatif à la fin des travaux, le surveillant doit aviser le chargé d'activité du Ministère de la date de l'inspection des travaux, dans le cadre de la réception de ceux-ci, afin que le chargé d'activité puisse y participer et planifier la première inspection générale de l'ouvrage avec les responsables de l'inspection des structures de la Direction générale territoriale. L'inspection des travaux par le surveillant et la première inspection générale par le personnel du Ministère doivent se faire en même temps au moyen d'un équipement d'accès fourni par l'entrepreneur. Le surveillant doit tenir compte des observations du chargé d'activité du Ministère dans le processus de réception des travaux.

Dans le cas d'un pont ou un tablier neuf avec des côtés extérieurs, il est indiqué au contrat de services professionnels, mentionné précédemment, que le surveillant doit réaliser un *Relevé du profil* du dessus des côtés extérieurs de l'ouvrage et le transcrire sur un plan. L'instrument de nivellement doit être placé de façon à ne pas être affecté par le passage des véhicules sur le pont et les lectures doivent être prises lorsque le pont est libre de circulation lourde. En été, le relevé doit être effectué par temps couvert ou tôt le matin. La lecture des élévations doit être précise à 2 mm près. Les points relevés sont localisés avec précision sur le dessus du chasse-roue, du trottoir ou de la glissière en béton de chaque côté du tablier. Dans le sens longitudinal, les relevés sont localisés vis-à-vis les unités de fondation ainsi qu'au quart, au centre et aux trois quarts de chacune des travées. Le plan sur lequel sont transcrits les points relevés doit comprendre une vue en plan de l'ouvrage montrant le sens du courant ou la direction des voies inférieures selon le cas, la direction des voies supérieures, l'emplacement des points relevés (distance par rapport aux unités de fondation) ainsi que la date, la température, le degré d'ensoleillement et le nom de celui qui a effectué le relevé. Le plan doit être signé par le surveillant.

Une fois les travaux inspectés et reçus par le surveillant (selon l'article 7.13 « Inspection et réception des travaux » du CCDG), le surveillant doit compléter et signer l'attestation mentionnée à l'annexe 12 « Attestation de conformité des travaux et de la surveillance des travaux » du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport* confirmant que l'ouvrage a été construit en conformité des exigences contractuelles.

Qualifications des membres de l'équipe de surveillance

Le surveillant est un ingénieur qui est chargé par le Ministère de surveiller et d'inspecter les travaux ainsi que de planifier et coordonner le déroulement de l'activité de surveillance. Il est donc responsable de la surveillance des travaux dans leurs aspects qualitatifs, quantitatifs et administratifs. Le surveillant peut déléguer certaines tâches techniques ou administratives, mais il garde toute la responsabilité qui lui a été confiée.

Les représentants techniques sont les personnes chargées par le surveillant de l'assister dans les tâches techniques ou administratives. Le représentant technique principal est un représentant technique qui assure, quant à lui, la gestion quotidienne au chantier des tâches de l'équipe de surveillance.

Puisque la surveillance de travaux de construction et de réparation de structures représente un domaine d'expertise particulier, le ministère des Transports a des exigences précises quant à l'expérience minimale en surveillance de structures et à la formation de chacun des membres de l'équipe de surveillance. Ces exigences s'appliquent autant au personnel du Ministère qu'à celui des prestataires de services affectés à la surveillance de travaux de structures.

Les exigences relatives à l'expérience et à la formation technique de l'équipe de surveillance apparaissent au contrat liant le prestataire de services et le Ministère. Pour le personnel du Ministère affecté à la surveillance des travaux, ces exigences apparaissent au devis type de *Services professionnels – Surveillance* disponible sur le site intranet du Ministère.

Le surveillant et les représentants techniques « ingénieur » doivent être des ingénieurs membres de l'Ordre des ingénieurs du Québec. Les représentants techniques « techniciens » doivent être détenteurs d'un diplôme d'études collégiales en technique de génie civil; par contre, les personnes nées avant 1952 et qui possèdent le nombre minimal d'années d'expérience requis sont acceptées.

Le représentant technique chargé de l'arpentage doit être un technicien (détenteur d'un diplôme d'études collégiales en technique de génie civil) possédant au moins deux ans d'expérience pertinente dans l'arpentage relatif au domaine des ponts. Ce représentant doit avoir accès en tout temps à un arpenteur-géomètre pour tout problème hors de sa compétence.

Le représentant technique chargé de la signalisation doit être un ingénieur membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec, possédant au moins trois ans d'expérience dans le domaine de la signalisation et du maintien de la circulation.

Mentionnons que tous les membres de l'équipe de surveillance, à l'exception des représentants techniques chargés de l'arpentage et de la signalisation, doivent avoir suivi avec succès, après le 1er janvier 2003, la formation du Ministère « Construction et réparation des structures ». Pour les personnes travaillant pour un prestataire de services, cette formation est donnée par un organisme reconnu par le Ministère, soit l'Université Laval, l'École Polytechnique de Montréal ou l'Université de Sherbrooke. De plus, le surveillant et le représentant technique attitré à la signalisation doivent avoir suivi la formation « Gestion des impacts des travaux routiers sur la circulation » donnée par l'Association québécoise du transport et des routes; l'attestation de cette formation doit être valide pour toute la durée des travaux.

Pour ce qui est du nombre minimal d'années d'expérience, le Ministère exige un nombre plus important d'années pour les travaux ayant un degré de difficulté de surveillance élevé. Les ouvrages suivants sont considérés comme ayant un degré de surveillance élevé :

- pont d'étagement (neuf, remplacement de tablier ou de dalle, élargissement de pont, de tablier ou de dalle ainsi que la réfection des côtés extérieurs);
- pont neuf ainsi que le remplacement de tablier ou de dalle à plus d'une travée;
- pont neuf ainsi que le remplacement de tablier ou de dalle avec au moins une travée de plus de 35 m;
- pont neuf ou remplacement de tablier avec tablier en béton précontraint en place (précontrainte longitudinale);
- pont avec pieu caisson;
- pont non courant neuf ou avec remplacement de tablier (pont à câbles, pont en arc, pont à poutres triangulées, pont à poutres caissons, pont à béquilles, pont avec poutres ou caissons en courbe, pont mobile et tunnel routier);
- pont avec ajout de précontrainte par post-tension extérieure;
- pont dont des éléments structuralement sensibles (poutre, colonne, chevêtre, béquille, dalle épaisse) doivent être réparés;
- pont de type dalle épaisse dont un joint de tablier doit être remplacé ou enlevé;
- pont dont un joint de tablier situé en travée doit être remplacé ou enlevé.

Pour ces ouvrages, le nombre minimal d'années d'expérience à titre d'ingénieur en surveillance de ponts exigé des membres de l'équipe de surveillance est :

- pour le surveillant :
  - 8 ans, dont 3 au maximum en préparation de plans et devis de structures;
- pour le représentant technique principal « ingénieur » :
  - 2 ans, qui peuvent être entièrement compensés par de l'expérience en préparation de plans et devis d'ouvrages d'art;
- pour le représentant technique principal « technicien » :
  - 5 ans;
- pour les autres représentants techniques :
  - 2 ans, pour le technicien le plus expérimenté par quart de travail. Par contre, aucune expérience n'est demandée pour les autres techniciens. Les techniciens peuvent, dans ce cas-ci seulement, être remplacés par des ingénieurs juniors d'expérience équivalente.

Pour les ouvrages dont le degré de difficulté de surveillance est moins élevé, soient les ouvrages non listés plus haut, le nombre minimal d'années d'expérience à titre d'ingénieur en surveillance de ponts exigé des membres de l'équipe de surveillance est :

- pour le surveillant :
  - 5 ans;
- pour le représentant technique principal « ingénieur » :
  - 2 ans, qui peuvent être entièrement compensés par de l'expérience en préparation de plans et devis d'ouvrages d'art;
- pour le représentant technique principal « technicien » :
  - 5 ans;
- pour les autres représentants techniques :
  - aucune expérience n'est demandée pour les autres techniciens. Ces techniciens peuvent, dans ce cas-ci seulement, être remplacés par des ingénieurs juniors.

Afin de faciliter la compréhension, ces mêmes exigences sont présentées de façon visuelle à la figure1.

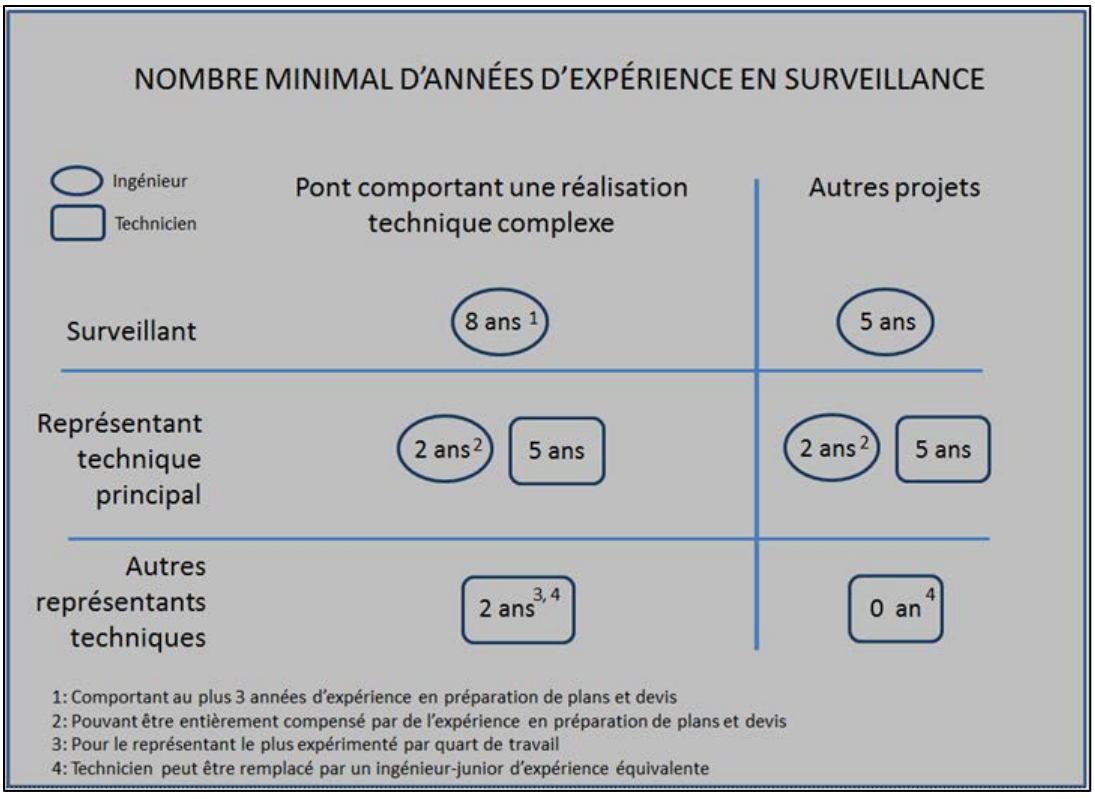


Figure 1 Nombre minimal d'années d'expérience des membres de l'équipe de surveillance

Pont temporaire

Certains projets nécessitent la réalisation d'un pont temporaire. Cet ouvrage, érigé près du site du pont à construire, permet de maintenir la circulation pendant la durée des travaux.

La taille de l'ouvrage à construire est fonction de l'obstacle à franchir, de la période de l'année où les travaux sont exécutés ainsi que des matériaux dont l'entrepreneur dispose. En effet, les ponts temporaires sont souvent réalisés à partir d'éléments de ponts ayant été démolis antérieurement. Les ponts acier-bois ainsi que les ouvrages sous remblai comme les tuyaux sont les types de ponts temporaires les plus répandus.

Il est exigé à l'article 10.3.8 du CCDG que l'entrepreneur fournisse au surveillant les plans d'atelier du pont temporaire; ces plans doivent être signés et scellés par un ingénieur, membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec. Les plans doivent respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG, notamment celles relatives au délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour étudier les plans et au nombre minimal de copies à fournir selon le format ISO A1. Ces plans n'ont pas à être visés ni par le surveillant ni par le concepteur, puisqu'ils concernent des ouvrages temporaires. Par contre, le surveillant doit les vérifier de façon à s'assurer que l'ouvrage qui y est décrit semble convenir aux exigences des documents contractuels, notamment quant à sa conformité à la norme CAN/CSA S6 « Code canadien sur le calcul des ponts routiers ».

L'article 10.3.8 du CCDG exige qu'une fois le pont temporaire érigé, l'ingénieur qui a signé le plan d'atelier procède à l'inspection du pont avant sa mise en service. Cette inspection doit se faire de manière détaillée avec une inspection de type « doigt sur la pièce » de manière à pouvoir déceler tout défaut de montage; une inspection sommaire à partir du sol ne permet pas le niveau de précision attendue de l'inspection.

À la suite de l'inspection, l'entrepreneur doit remettre au surveillant un avis signé par cet ingénieur indiquant que le pont temporaire est conforme au plan. Le surveillant ne doit pas autoriser la circulation sur le pont temporaire tant que toutes ces conditions ne sont pas remplies; le pont temporaire servira aux usagers de la route pendant les travaux, ce qui justifie toutes les précautions concernant sa sécurité.

Mentionnons qu'une glissière en béton pour chantier peut être utilisée comme dispositif de retenue sur le pont temporaire (voir l'article 10.3.9.2.1 « Glissières en béton pour chantier du CCDG). S'il juge les plans non conformes, le surveillant doit faire les interventions qu'il croit nécessaires auprès de l'entrepreneur. Une copie des plans doit être transmise au concepteur pour information.

À moins d'une indication contraire au devis spécial, un pont temporaire doit aussi respecter certains paramètres géométriques, comme une largeur carrossable minimale de 8 m ainsi qu'un dégagement vertical de 1 m au-dessus du niveau maximal des eaux.

D'autres exigences doivent également être prises en compte comme la présence d'un trottoir, s'il y a des trottoirs le long de la route, ainsi que les modalités relatives aux emprises et à la propriété.

Pour plus d'information, le surveillant doit se référer à l'article 2.18.4 « Ouvrages temporaires » du *Tome III – Ouvrages d'art* des normes du Ministère et à l'article 10.3.8 « Pont temporaire » du CCDG.

Utilisation des ouvrages d'art

Les exigences de l'article 6.11 « Utilisation des ouvrages d'art » du CCDG sont importantes afin de limiter le dépôt de matériaux sur un tablier existant ainsi que sur les poutres préfabriquées lors de la construction ou la reconstruction d'une dalle. Il en est de même pour le poids des équipements utilisés lors des travaux.

En effet, pour un tablier existant, il est exigé qu'aucun matériau granulaire ne soit déposé sur le tablier; les matériaux provenant de la démolition sont tolérés jusqu'à concurrence des limites spécifiées au CCDG. Pour les autres matériaux, seuls ceux utilisés dans le cadre des travaux sont autorisés; mentionnons qu'ils sont peu nombreux, le revêtement en enrobé et les pièces métalliques des dispositifs de retenue étant les principaux. Pour une nouvelle dalle, les paquets de coffrages et d'armatures sont permis pourvu qu'ils soient déposés à moins de 3 m des unités de fondation.

Toutes ces exigences sont nécessaires pour éviter d'imposer des charges mortes importantes au système structural et éviter ainsi l'endommagement, voire l'effondrement de l'ouvrage. Le surveillant se doit donc d'être très vigilant, suspendre au besoin les travaux et faire immédiatement corriger la situation.

Dans le cas des véhicules routiers utilisés lors des travaux comme, par exemple, les camions, leur poids est limité aux charges légales sans toutefois excéder la capacité affichée du pont, et ce, pourvu qu'il n'y ait pas d'autres exigences plus restrictives aux plans et devis. Les équipements de chantiers (tels que pelles hydrauliques, chariots élévateurs, grues, etc.) sont pour leur part limités à 23 tonnes, sans excéder la capacité affichée de l'ouvrage indiquée au panneau de limitation de poids pour le camion à deux essieux. Ces conditions ne sont toutefois valides que si le pont demeure dans son état avant travaux et n'est pas affaibli par ces derniers; si l'entrepreneur a procédé à la démolition d'éléments de support, même partielle, le poids des équipements pourrait devoir être limité davantage ou une vérification de la capacité portante du pont pourrait s'avérer nécessaire.

Si l'entrepreneur désire utiliser sur le pont des équipements de chantier ayant un poids supérieur à 23 t, donc ne pouvant pas circuler sur des chemins publics, ou veut utiliser le pont pour la mise en place d'éléments lourds tels que des poutres préfabriquées ou tout autre usage sollicitant un pont en construction ou un pont existant, il est exigé au CCDG qu'une vérification structurale soit faite conformément à la norme CAN/CSA-S6 « Code canadien sur le calcul des ponts routiers ». Précisons que pour le planage de l'enrobé, la masse maximale de l'équipement est fixée à 32 t en raison d'une plus

grande longueur et de l'utilisation de chenilles; pour la mise en place de l'enrobé, la masse maximale du finisseur est fixée à 28 t avec des conditions d'utilisation qui sont spécifiées au CCDG (art. 15.11.3.3).

Glissière en béton pour chantier

Des glissières en béton pour chantier sont nécessaires lorsqu'il y a des risques de chute hors du pont en raison de l'absence d'un dispositif de retenue permanent comme dans le cas du remplacement d'une dalle, d'un tablier ou d'un pont, ou encore, lors de la réfection de côtés extérieurs; ces glissières sont alors décrites en annexe au devis spécial. Le surveillant doit aussi se référer, pour plus d'information, à l'article 2.18.4.2 « Dispositifs de retenue pour chantier » du *Tome III – Ouvrages d'art* des normes du Ministère et à l'article 10.3.9.2.1 « Glissières en béton pour chantier » du CCDG. Mentionnons que ces glissières ont la même géométrie et le même système de raccord entre les glissières que celles qu'on utilise sur les routes, mais elles contiennent plus d'armatures afin d'être en mesure de retenir un véhicule en déroute comme le ferait un dispositif de retenue permanent et elles sont munies d'un dispositif d'ancrage au tablier.

Selon les exigences du CCDG article 15.4.3, les ancrages des glissières en béton pour chantier sur une dalle neuve ou à conserver doivent être en acier inoxydable et être fixés au moyen d'une résine chimique. Il n'est plus permis d'employer d'ancrages mécaniques pour cette application, car ces derniers ne développent pas assez de capacité pour résister aux charges de la glissière et il n'est pas possible de les fixer adéquatement à la glissière étant donné leur géométrie.

Bien que l'entrepreneur n'ait pas à fournir des plans d'atelier, le surveillant doit tout de même s'enquérir de la manière d'ancrer la glissière au tablier, lorsque cela est requis. Il doit notamment s'assurer que, dans le cas d'une dalle neuve, les ancrages ne traversent pas la dalle sur toute son épaisseur et qu'ils sont fixés au moyen de résine chimique. Il doit aussi vérifier que les ancrages proposés ont la résistance requise; en cas de doute, il ne doit pas hésiter à exiger de l'entrepreneur une note de calcul signée par un ingénieur membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec. Mentionnons que les ancrages doivent traverser de part en part une dalle existante à remplacer, car la résistance du béton peut être insuffisante, ou un tablier en bois.

Selon les exigences de l'article 10.3.9.2.1 « Glissières en béton pour chantier » du CCDG, l'entrepreneur doit fournir le plan d'aménagement des glissières au surveillant afin que celui-ci vérifie s'il convient pour les besoins du projet. De plus, selon le même article, il doit donner au surveillant un avis écrit signé par un ingénieur, membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec, indiquant que les glissières sont installées selon le plan soumis et l'annexe du devis spécial ainsi que selon les exigences du chapitre 4 « Travaux » du *Tome V – Signalisation routière* des normes du Ministère. Avant de permettre la circulation à proximité des glissières, le surveillant doit aussi s'assurer que les tiges d'ancrage n'excèdent pas le profil des glissières afin qu'elles ne constituent pas un obstacle au trafic.

Une fois les travaux terminés, les ancrages sur les dalles neuves ou à conserver doivent être coupés au niveau du dessus du béton de la dalle après utilisation. Il n'est pas permis de couper les ancrages au niveau du dessus de l'enrobé, car ce détail conduit à un endommagement prématuré avec le passage des déneigeuses.

Précisons que dans le cas de glissières non ancrées, généralement employées pour séparer la zone des travaux et les voies de circulation, le surveillant doit veiller à ce qu'aucun équipement temporaire (étaiement, abri pour bétonnage, etc.) ne soit installé à l'intérieur de l'espace tampon requis pour le déplacement latéral de la glissière en cas d'impact. Cet espace tampon varie en fonction du nombre de voies de circulation sur le chantier et cette valeur est généralement indiquée dans les plans et devis.

Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées

Il est important de mentionner que la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère publie annuellement une liste des matériaux relatifs au béton qui respectent les normes établies par le Ministère. Le rôle de cette liste est de permettre au surveillant de vérifier rapidement si un produit proposé par l'entrepreneur peut être jugé acceptable ou non. Si le produit apparaît sur la liste, le surveillant peut l'accepter sans hésitation. Par contre, s'il n'y n'apparaît pas, il se peut qu'il ne respecte pas les normes. Il est également possible que le produit n'ait jamais été évalué; pour s'en assurer, le surveillant doit communiquer avec la section « Matériaux » de la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère (via le gérant de projet du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services). Si le produit n'a effectivement jamais fait l'objet d'une évaluation, le surveillant doit demander à l'entrepreneur de le transmettre à cette direction générale pour évaluation. Étant donné que le processus d'évaluation peut prendre plusieurs mois, le surveillant doit aussi informer l'entrepreneur de ce délai et lui demander de proposer un autre produit, idéalement un parmi ceux apparaissant à la liste des matériaux éprouvés.

Bien que cette liste ne soit pas contractuelle, elle est largement utilisée comme si elle l'était, puisque cette façon de faire permet de réduire considérablement les formalités d'acceptation des produits proposés par l'entrepreneur; c'est la raison fondamentale qui explique que les surveillants et les entrepreneurs y trouvent leur compte. Rappelons que la liste se trouve sur le site Internet du ministère des Transports :

https://www.transports.gouv.qc.ca

CHAPITRE 1

DÉMOLITION DES OUVRAGES EXISTANTS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **1-1**

NORME **1-1**

1.1 MATÉRIEL **1-2**

1.1.1 Démolition complète 1-3
1.1.2 Démolition partielle 1-7

1.2 MISE EN ŒUVRE **1-11**

1.2.1 Démolition complète 1-14
1.2.2 Démolition partielle 1-16

TABLEAU

Tableau 1.1-1 Marteaux hydrauliques acceptés par le Ministère (énergie de choc) 1-9

PHOTOGRAPHIES **1-21**

AIDE-MÉMOIRE **1-23**

INTRODUCTION

La reconstruction et la réparation d'éléments de pont nécessitent généralement des travaux préalables de démolition, lesquels mettent grandement à contribution le jugement du surveillant. La tâche de ce dernier peut être plus facile dans certains cas, comme dans celui de la démolition complète d'un élément, mais elle peut aussi être plus complexe, comme dans le cas de la démolition partielle d'une poutre.

L'expression « démolition complète » est employée lorsqu'une structure en entier doit être démolie; elle s'applique également lorsqu'un élément de pont (dalle, tablier, chevêtre, chasse-roue, etc.) doit être entièrement démoli et reconstruit. L'expression « démolition partielle », quant à elle, est utilisée lorsque seulement une portion d'un élément doit être démolie dans le cadre de la réparation de cet élément, soit habituellement l'enrobage de béton des armatures qui est endommagé.

Le choix que fait l'entrepreneur d'un équipement de démolition plutôt que d'un autre dépend de plusieurs facteurs, dont l'ampleur de la structure, le type d'intervention, la qualité du béton et la quantité qu'on doit enlever, les délais de réalisation ainsi que les contraintes environnementales. Le surveillant doit, quant à lui, vérifier particulièrement les points suivants :

- le matériel de démolition choisi doit être adéquat tant en ce qui concerne le type d'équipement que ses caractéristiques;
- la stabilité de l'ouvrage n'est pas compromise durant les travaux de démolition;
- l'entrepreneur respecte son plan de démolition, dans le cas de la démolition complète;
- les précautions doivent être prises pour que les éléments ou les parties d'éléments à conserver ne soient pas endommagés;
- le béton à conserver doit être libre de tout béton inadéquat.

Les activités 3101 à 3136 du chapitre 3 « Méthodes d'intervention » du *Manuel d'entretien des structures* contiennent beaucoup de renseignements utiles concernant la démolition du béton sur la plupart des éléments de pont à réparer.

NORME

Afin d'alléger le texte, la description complète de la norme citée dans le présent chapitre est faite ici. Cette norme est :

- ASTM D-4580 : Standard Practice for Measuring Delaminations in Concrete Bridge Decks by Sounding

1.1 MATÉRIEL

Plusieurs équipements de démolition sont autorisés dans les documents contractuels. Ce sont : la scie à béton, le marteau pneumatique manuel, le marteau hydraulique, l'équipement d'hydrodémolition, le jet d'eau sous pression et le brise-béton de type cisaille. L'annexe M1 « Matériel de démolition autorisé » du devis spécial illustre de façon visuelle les exigences du CCDG concernant les équipements.

La principale raison pour encadrer le choix des équipements est l'importance de maintenir l'intégrité du béton à conserver. En effet, l'énergie de choc produite par un marteau trop puissant peut engendrer une microfissuration sur la surface du béton à conserver, microfissuration non nécessairement visible à l'œil nu, mais qui est susceptible d'endommager le lien entre les granulats et la matrice du béton, et de diminuer la qualité de l'adhérence du béton de réparation.

Les documents contractuels décrivent clairement les balises imposées à l'entrepreneur concernant le choix de l'équipement de démolition, ces balises étant plus restrictives pour une démolition partielle. L'imposition de ces balises libère le surveillant de l'obligation de porter un jugement subjectif sur l'équipement proposé en raison de l'aspect microscopique du phénomène de fissuration.

Le surveillant doit tout de même demeurer vigilant lors des travaux de démolition parce qu'il peut arriver qu'un équipement autorisé endommage le béton ou les armatures à conserver. Le surveillant doit alors demander à l'entrepreneur de réduire la capacité de l'équipement en question comme cela est indiqué au devis spécial. Bien que cette situation puisse entraîner des conséquences financières liées à la diminution de productivité de l'entrepreneur, l'objectif premier du surveillant est de s'assurer que le béton à conserver ne soit pas endommagé. Mentionnons que la perte de productivité est généralement négligeable, car l'endommagement est souvent lié à la présence de béton de faible résistance; autrement dit, l'enlèvement d'un béton de faible résistance avec un équipement plus petit ne prend pas plus de temps que l'enlèvement d'un béton plus résistant avec un marteau plus puissant.

Dans le cas particulier des marteaux hydrauliques, il est essentiel que l'entrepreneur fournisse au surveillant les fiches techniques des marteaux qu'il prévoit utiliser. Celui-ci peut ainsi s'assurer que les marteaux proposés respectent les exigences. Il peut aussi se référer au tableau 1.1-1 qui présente la liste des marteaux 200 et 350 joules (J) ou moins considérés comme acceptables.

Mentionnons que les marteaux hydrauliques sont classés dans ce tableau selon la classe d'impact, c'est-à-dire selon l'énergie de choc par frappe (60 J, 200 J, 350 J ou 1 000 J), puisque c'est la façon de faire de l'industrie depuis longtemps. Cependant, puisqu'on peut retrouver de grandes variations d'impact parmi les marteaux regroupés dans une même classe d'impact, deux importantes associations américaines de manufacturiers d'équipements ont entrepris de classer les marteaux selon l'impact réel au bout de la tige, mesuré à partir d'essais contrôlés. Ce sont ces valeurs, plus représentatives de l'énergie de choc par frappe des marteaux, et identifiés sur les fiches

techniques sous la désignation CIMA (Construction Industry Manufacturers Association) ou bien AEM (Association of Equipment Manufacturers), que le surveillant devrait utiliser pour vérifier les exigences spécifiées au CCDG. Précisons que ces valeurs ne sont pas disponibles pour tous les marteaux disponibles sur le marché. Il peut donc arriver qu'un marteau ayant une énergie de choc par frappe un peu au-dessus de 200 J, et classé parmi les marteaux de moins de 350 J au tableau 1.1-1, puisse être utilisé comme marteau de moins de 200 J s'il est fait mention dans la fiche technique de ce marteau de sa valeur d'impact réel (CIMA).

De plus, pour tous les marteaux, le surveillant doit veiller à ce que la largeur de l'extrémité de la tige du marteau n'excède pas le diamètre de la tige afin que l'énergie de choc soit concentrée et non pas diffuse; une énergie concentrée permet une démolition sans vibrations excessives sur le béton à conserver.

1.1.1 Démolition complète

L'utilisation des scies à béton, des marteaux hydrauliques et pneumatiques ainsi que des brise-bétons de type cisaille est autorisée pour la démolition d'une dalle sur poutres, des côtés extérieurs (dalle en porte-à-faux sur poutres et les dispositifs de retenue au-dessus) et des dispositifs de retenue (tout en conservant la dalle au-dessous) pourvu que les exigences du CCDG soient respectées. Les autres équipements de démolition sont de facto interdits. Dans le cas de démolition complète d'éléments de pont n'apparaissant pas au CCDG, le surveillant doit se référer aux principes établis pour ceux qui y apparaissent afin de juger de la méthode proposée par l'entrepreneur.

Matériel

Scie à béton

L'utilisation de la scie à béton permet d'enlever rapidement d'importants volumes de béton comme lors du remplacement d'une dalle où les morceaux résultant du sciage sont ensuite transportés tels quels à l'extérieur du chantier. Parmi les autres avantages liés à son utilisation, soulignons la faible production de poussière et une gestion plus facile des rebuts.

Dans le but évident de protéger les éléments structuraux, il est important de faire respecter l'exigence interdisant l'utilisation de cet équipement à moins de 100 mm des poutres et des diaphragmes. Lors de la démolition d'une dalle sur poutres ou d'un tablier, le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur a localisé de façon claire les poutres et les diaphragmes sur le dessus de la dalle au moyen d'une peinture en aérosol afin de bien les visualiser et ainsi diminuer le plus possible les risques accidentels d'endommagement.

Marteaux hydrauliques : 200 joules (J) ou moins et 350 joules (J) ou moins

L'utilisation de marteaux hydrauliques est autorisée pour la démolition d'une dalle sur poutres, des côtés extérieurs d'un ouvrage, des éléments métalliques d'un joint de tablier, d'un trottoir, d'une piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle, d'un chasse-roue ou d'une glissière en béton. Celle du marteau de 350 joules (J) ou moins est cependant limitée à certains éléments de pont, tels les dalles sur poutres en acier, les côtés extérieurs et les glissières en béton, dont la démolition à l'aide de ce marteau peut se faire sans engendrer des dommages significatifs aux éléments de pont adjacents.

Il est primordial aussi que la masse du véhicule porteur soit conforme aux exigences. Le fait d'utiliser un véhicule porteur d'une masse plus élevée peut facilement devenir un incitatif pour surexploiter les capacités du marteau avec toutes les conséquences néfastes pour le béton à conserver.

De plus, il est important de ne pas trop s'approcher des éléments principaux de la structure afin de protéger leur intégrité comme cela est mentionné au CCDG.

Marteau hydraulique de 1 000 joules (J) ou moins

L'utilisation de ce marteau n'est autorisée au CCDG que pour la démolition complète d'un tablier. L'énergie du marteau est limitée à 1 000 J pour éviter d'endommager les unités de fondation à conserver.

Marteaux pneumatiques manuels et marteau hydraulique de 60 joules (J) ou moins

Des marteaux manuels de 30 et de 7 kg doivent être employés pour la démolition du béton au-dessus des poutres et des diaphragmes dans le contexte de la reconstruction d'une dalle ainsi que pour la démolition d'un trottoir, d'une piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle ou d'un chasse-roue. Cette exigence du CCDG s'impose pour éviter d'endommager les poutres ou la dalle à conserver. De plus, un marteau 15 kg doit être utilisé pour démolir les derniers 100 mm d'une glissière en béton attenant à une dalle à conserver pour éviter d'endommager cette dernière. Un marteau hydraulique de 60 J ou moins peut être utilisé au lieu d'un marteau pneumatique manuel de 30 kg; l'avantage du marteau hydraulique consiste surtout à réduire la fatigue des ouvriers.

Brise-béton de type cisaille (1 mâchoire mobile)

L'utilisation de brise-béton de type cisaille est autorisée pour la démolition complète d'un tablier (poutres et dalle), d'une glissière en béton et des côtés extérieurs jusqu'à 300 mm du béton à conserver. Puisque les mâchoires de cet équipement écrasent et effritent le béton à démolir, leur utilisation a l'avantage de produire moins de vibrations qu'un marteau hydraulique. Cependant, en raison de la difficulté à couper de façon nette toutes les armatures contenues dans le béton, l'éclatement du béton à conserver causé par le mouvement brusque et incontrôlé des armatures est souvent à craindre.

Cela explique pourquoi cet équipement ne peut pas être utilisé sur tous les éléments de pont et, pour ceux où cela est permis, qu'une certaine distance tampon entre le béton démoli et le béton à conserver doit être respectée.

Brise-béton de type cisaille (2 mâchoires mobiles)

Ce brise-béton de type cisaille de nouvelle génération a fait son apparition récemment sur le marché; il est souvent appelé « cisaille multiprocesseur ». Ses caractéristiques sont similaires à celles du brise-béton de type cisaille traditionnel à l'exception que les deux mâchoires de la cisaille sont mobiles, c'est-à-dire actionnées chacune par un cylindre hydraulique. Cette caractéristique en ferait, selon ses promoteurs, un équipement qui coupe les barres d'armature de façon nette sans endommager les armatures et le béton à conserver. L'équipement pourrait donc, toujours selon ses promoteurs, être utilisé pour la démolition de certains éléments, là où le brise-béton de type cisaille traditionnel (une mâchoire mobile) n'est pas permis.

Il est fortement recommandé au surveillant de consulter la Direction générale des structures du Ministère avant d'autoriser l'utilisation de ce nouveau brise-béton pour la démolition d'ouvrages où le brise-béton traditionnel n'est pas permis. Puisque l'habileté de l'opérateur est jugée très importante pour ne pas endommager les armatures et le béton à conserver, le surveillant doit toujours être très présent sur le chantier lors des travaux de démolition avec cet équipement et ne pas hésiter à arrêter les travaux et à retirer l'équipement du chantier en cas de malfaçons.

Parties de pont

Dalle sur poutres

Puisque la scie à béton est le matériel le plus adapté à la démolition d'une dalle sur poutres, elle devrait être utilisée de façon courante surtout lorsque les délais sont serrés. Les marteaux hydrauliques 200 J (poutres en béton) et 350 J (poutres en acier) peuvent aussi être utilisés en remplacement de la scie à béton, bien qu'ils produisent plus de vibrations sur les poutres à conserver. Tous ces équipements ne doivent pas s'approcher trop près des poutres et diaphragmes et il est donc important de faire respecter les exigences du CCDG à ce chapitre; il est d'ailleurs prévu au CCDG que l'entrepreneur utilise des outils plus petits pour la démolition du béton à proximité et au-dessus des poutres et diaphragmes. Ces outils sont le marteau pneumatique manuel d'au plus 30 kg ou un marteau hydraulique 60 J (béton au-dessus de la première nappe d'armature) et le marteau pneumatique manuel d'au plus 7 kg (béton au niveau et au-dessous de la première nappe d'armature). Dans le cas de poutres en acier, le béton qui se trouve immédiatement au-dessus des poutres doit être enlevé de façon manuelle afin d'éviter d'endommager celles-ci (les marques de marteau pouvant se transformer en amorce de fissure). Une façon simple de procéder à l'enlèvement manuel du béton consiste à frapper le béton avec une masse pour le faire décoller des poutres; un jet d'eau haute pression pourrait également être employé.

Côté extérieur d'une dalle

L'entrepreneur doit utiliser soit un marteau hydraulique 350 J, soit un brise-béton de type cisaille. Comme pour la démolition d'une dalle sur poutres, il ne faut pas s'approcher trop près des poutres (dalle sur poutres) et se servir d'un marteau pneumatique d'au plus 15 kg pour finaliser la démolition (dalle épaisse pleine).

Trottoir, piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle, chasse-roue ou glissière en béton

Comme indiqué au CCDG, l'entrepreneur doit utiliser un marteau pneumatique manuel d'au plus 30 kg ou un marteau hydraulique 60 J pour la démolition d'un trottoir, piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle ou d'un chasse-roue alors que la dalle sous-jacente doit être conservée. Par contre, il peut utiliser un marteau hydraulique 350 J pour la démolition d'une glissière en béton, car il est possible de procéder ainsi sans endommager la dalle à conserver; mentionnons que les derniers 100 mm attenants à la dalle doivent être démolis avec un marteau pneumatique manuel d'au plus 15 kg.

Le surveillant doit être vigilant lors de la démolition de ces éléments afin que la dalle ne soit pas endommagée.

Dalle de transition

L'entrepreneur doit utiliser soit un marteau hydraulique 350 J, soit un brise-béton de type cisaille. Afin de protéger les éléments de ponts à conserver, il ne faut pas s'approcher trop près du mur garde-grève de la culée et se servir d'un marteau pneumatique d'au plus 15 kg pour finaliser la démolition sur les derniers 300 mm.

Remplacement ou élimination d'un joint de tablier

L'entrepreneur doit utiliser des petits outils et de la façon indiquée au CCDG pour enlever le béton des épaulements du joint et de la dalle adjacente. Il en est de même pour la démolition de la partie supérieure du garde-grève (un marteau hydraulique de 200 J est permis si le garde-grève a une épaisseur d'au moins 450 mm). Afin de faciliter la tâche des ouvriers, il est permis au CCDG d'utiliser un marteau 200 J pour l'enlèvement des éléments en acier d'un joint de tablier; il faut par contre être très vigilant et s'assurer que l'entrepreneur n'en profite pas pour démolir le béton adjacent avec ce type de matériel afin de prévenir tout dommage au béton à conserver.

Tablier

Dans le cas de la démolition d'un tablier, l'entrepreneur peut utiliser le matériel qu'il désire; la seule exigence est de ne pas employer de marteau hydraulique de plus de 1000 J (ni un marteau hydraulique monté sur un véhicule porteur de plus de 10 000 kg) afin d'éviter d'endommager les unités de fondation à conserver.

Pont

Dans le cas de la démolition complète d'un pont, donc lorsqu'il n'y a aucun élément à conserver, le CCDG n'impose pas de restrictions particulières de matériel. La méthode et le matériel employés doivent tout de même être décrits dans le plan de démolition. Dans ce cas, le surveillant doit analyser la méthode et le matériel afin d'en constater la conformité à d'autres exigences, notamment celles de l'article 6.9 « Protection de la propriété et réparation des dommages » de même que les vitesses permises de la section 11.4.4 « Contrôle des vibrations et du taux de monoxyde de carbone générés par les travaux à l'explosif », qui s'appliquent en vertu de l'article 15.15 du CCDG.

1.1.2 Démolition partielle

L'utilisation de marteaux hydrauliques et pneumatiques ainsi que d'équipements d'hydrodémolition ou de jets d'eau sous pression est autorisée pour la démolition partielle de tous les éléments de pont pourvu que les exigences du CCDG soient respectées. Les autres équipements de démolition sont de facto interdits, notamment les brise-bétons de type cisaille en raison de la difficulté à couper de façon nette toutes les armatures contenues dans le béton. Cette exigence est nécessaire pour éviter l'éclatement du béton causé par le mouvement brusque et incontrôlé des armatures.

Matériel

Marteaux pneumatiques manuels et marteau hydraulique de 60 joules (J) ou moins

Les marteaux pneumatiques manuels sont classés selon leur masse (soit 7, 15 et 30 kg). Ce type de marteau est largement utilisé lors d'une démolition partielle, puisqu'il permet de diminuer l'importance des vibrations transmises au béton à conserver. Il permet également de limiter la démolition au béton endommagé sans augmentation indue engendrée par l'équipement de démolition lui-même.

L'utilisation d'un support hydraulique pour marteau pneumatique (appelé aussi positionneur-activateur pour marteaux ou P.A.M.) comme équipement de support et d'assistance est permise pour le marteau pneumatique manuel de 15 kg. Son utilisation devrait même être favorisée pour la démolition de béton sur des surfaces verticales en raison d'une énergie d'impact non modifiée, d'une opération plus sécuritaire et d'une productivité accrue.

Les prescriptions du CCDG sont basées sur le principe que la démolition partielle se réalise par étapes, au moyen d'un marteau plus puissant (de 15 ou de 30 kg) jusqu'à la première nappe d'armature, et d'un marteau plus petit (de 7 ou de 15 kg) pour enlever le béton sous cette armature ou vis-à-vis d'elle. Le tandem 15 kg-7 kg est utilisé pour les éléments structuraux minces ou élancés (poutres, diaphragmes, colonnes, etc.) afin de préserver leur intégrité, la légèreté du marteau étant un facteur déterminant pour obtenir une démolition de précision.

Un marteau hydraulique de 60 J ou moins peut être employé au lieu d'un marteau pneumatique manuel de 30 kg; l'avantage du marteau hydraulique consiste surtout à réduire la fatigue des ouvriers.

Marteau hydraulique de 200 joules (J) ou moins

L'utilisation du marteau de 200 J ou moins est autorisée pour la démolition de certains éléments massifs ayant une épaisseur d'au moins 450 mm, notamment pour des culées, des piles ou des dalles épaisses non évidées. Dans de telles situations, la démolition doit toutefois être exécutée en prévision d'une réparation sans surépaisseur ou de l'enlèvement d'un délaminage. L'utilisation du marteau de 200 J est alors limitée au béton au-dessus de la première nappe d'armature. Si la démolition de surface est effectuée en vue de réaliser une réparation avec surépaisseur, l'utilisation du marteau de 200 J est interdite, car cet équipement est trop puissant et il risque de laisser une surface comportant des microfissurations. Il existe également un risque de retirer trop de béton inutilement.

L'utilisation du marteau de 200 J ou moins est également autorisée pour démolir des parties d'ouvrages contenant des éléments en acier (joint de tablier, chasse-roue métallique). Le marteau de 200 J ou moins est permis pour la démolition de ces éléments parce que les risques d'endommagement dus aux vibrations sont beaucoup plus faibles.

L'utilisation du marteau de 200 J pour des surfaces verticales ou au plafond peut être très appropriée à la place des marteaux manuels afin d'alléger le travail des ouvriers, surtout pour des réparations d'envergure.

Il est primordial aussi que la masse du véhicule porteur soit conforme aux exigences. Le fait d'utiliser un véhicule porteur d'une masse plus élevée peut facilement devenir un incitatif pour surexploiter les capacités du marteau avec toutes les conséquences néfastes pour le béton à conserver.

De plus, afin de protéger l'intégrité des éléments principaux de la structure, il est important de ne pas trop s'en approcher avec ce type d'équipement. Le CCDG donne les distances à respecter pour les cas les plus courants.

Tableau 1.1-1 Marteaux hydrauliques acceptés par le Ministère (énergie de choc)

COMPAGNIE	Énergie de choc < 200 J	Énergie de choc < 350 J
ALLIED	680; 700B; AS 342	690 ; 711B ; AS 352
ATLAS-COPCO	TEX-75H ; TEX-80H; TEX-100H; SBC 60 ; SBC 115; SB 100	TEX-110H; SBC 255; SB 150
BOBCAT	1250	2 500; HB 680
BTI (Teledyne)	---	TB-100; TB-120; TB-125 ME ; TB-225 ME
CATERPILLAR	H45	H50
CHICAGO-PNEUMATIC	CP-75H; CP-100H; CP-80H	CP-110H
GLOBRAM	RM 45; RM 48	RM 56
HANIX	HHB-05	HHB-1
HUSKIE	HH-150; HH-100	---
INDECO	MES 150; MES 121; MES 180; HP 200	MES 181; MES 200; MES 300; HP 350
JCB	HM70; HM160	---
JRB	JKHB 71	---
KENT (Furukawa)	HB 05 E; HB-1G; HB-2G; 1G II; 2G II; KF1; KF2	KF3; KF4
KUBOTA	KXB 300; KXB 400	KXB 450
NPK	H-06X; H-08X; E200; E201	H-IXA E202
OKADA	OKB 300; TOP 25	TOP 30
OMD	8	---
RAMMER	Picolo; S-20 ; S-21	S-22
SOOSAN	SB 20; SB 10	SB 30
STANLEY (LaBounty)	MB 105; MB 125;	MB 1560
TAKEUCHI	TKB 50	TKB 70; TKB 71
TRAMAC	BRP 28; BRH 38; BRH 40; 30; 50 ; 70; SC 8; SC 12	BRP 45; BRP 50; 85; SC 16
UB EQUIPMENT	UB-301	UB-302

* Note : 1 lb-pi = 1,36 joule

Hydrodémolition

L'hydrodémolition est une méthode qui peut être employée si elle donne des résultats comparables à ceux obtenus par l'utilisation des autres équipements autorisés. Faible génératrice de poussière, avantageuse pour de grandes quantités de béton à démolir, cette méthode est sans doute la plus appropriée pour préserver l'intégrité du béton à conserver, bien que la gestion des résidus soit souvent laborieuse. Un équipement à jet unique d'opération manuelle sert habituellement pour les surfaces verticales et au plafond alors qu'un équipement automoteur robotisé est surtout employé pour les dalles. Un essai d'étalonnage pour ajuster la profondeur de démolition est à prévoir lorsqu'un équipement automoteur est utilisé.

Jet d'eau sous pression (15 MPa)

Le jet d'eau sous pression est autorisé pour la démolition du béton dans le cas d'une réparation avec coffrages et surépaisseur, puisque le béton à conserver peut être de qualité moindre que celle requise normalement.

Étapes de démolition

Béton au-dessus de la première nappe d'armature

Dépendamment de l'élément à réparer, l'entrepreneur doit utiliser des équipements adaptés pour préserver l'intégrité structurale de l'élément. Il doit donc utiliser un marteau pneumatique manuel d'au plus 15 kg pour les poutres, les diaphragmes, les colonnes, les socles d'appui, les chevêtres, les dalles épaisses évidées et les autres éléments structuralement sensibles. Pour les autres éléments de pont, il est permis d'utiliser un marteau pneumatique manuel d'au plus 30 kg (ou un marteau hydraulique 60 J). Dans le cas d'éléments massifs (épaisseur d'au moins 450 mm) de culées, de piles, de murs ou de dalles épaisses pleines, un marteau 200 J peut même être utilisé sans problèmes.

Béton au niveau et en dessous de la première nappe d'armature

Dépendamment de l'élément à réparer, l'entrepreneur doit utiliser des équipements adaptés pour éviter d'endommager le béton à conserver et de préserver l'intégrité structurale de l'élément. Il doit donc utiliser un marteau pneumatique manuel d'au plus 7 kg pour les poutres, les diaphragmes, les colonnes, les socles d'appui, les chevêtres, les dalles épaisses évidées et les autres éléments structuralement sensibles. Pour les autres éléments de pont, il est permis d'utiliser un marteau pneumatique manuel d'au plus 15 kg (sauf pour la démolition du béton à proximité ou au-dessus de poutres comme cela est expliqué à l'article 1.2.1 de ce chapitre).

Béton situé au-delà d'une profondeur de 10 mm (réparation avec coffrages et surépaisseur)

Dans le cas particulier d'une réparation avec coffrages et surépaisseur et une fois enlevés les premiers 10 mm de béton au-dessus de la première nappe d'armature,

l'entrepreneur doit utiliser un jet d'eau sous pression plutôt que les petits équipements mentionnés au paragraphe précédent. En effet, puisque le béton à conserver peut être de qualité moindre que celle requise normalement, il est inutile d'enlever tout le béton non sain, car le lien entre le nouveau béton et le béton à conserver est moins important.

1.2 MISE EN ŒUVRE

Dès la première réunion de chantier, les exigences contractuelles et la remise des documents requis relatifs aux travaux de démolition doivent être abordées avec l'entrepreneur. Par la suite, la présence du surveillant est importante à plusieurs étapes des travaux de démolition. Comme pour tous les types de travaux, le surveillant doit s'assurer d'avoir accès aux travaux de démolition en tout temps, et ce, selon les prescriptions de l'article 5.4 « Inspection des travaux » du CCDG.

Lors de la démolition complète, le rôle du surveillant est de voir à ce que la procédure de démolition soit respectée et de veiller à ce que les parties de l'ouvrage à conserver s'il y a lieu demeurent sans dommages. Lors de la démolition de structures en entier, le surveillant s'assurera, au même titre que l'entrepreneur, que le comportement de l'ouvrage en cours de démolition demeure sécuritaire.

L'exigence relative à la distance minimale de 5 m à maintenir entre chaque marteau hydraulique vise à limiter les vibrations excessives sur le béton des éléments adjacents à la démolition qui sont à conserver (ex. : démolition complète d'une dalle sur poutres de béton à conserver).

Lors de la démolition partielle, le rôle du surveillant est de voir à ce que les équipements de démolition acceptés soient utilisés de manière à enlever le béton endommagé dans les limites indiquées dans les plans et devis tout en maintenant intacts le béton adjacent et les armatures à conserver. Le surveillant doit intervenir au besoin lors des travaux pour faire rectifier toute situation irrégulière. Le CCDG permet d'ailleurs au surveillant d'exiger à tout moment une réduction de la capacité des équipements de démolition autorisés s'il constate des dommages aux armatures ou au béton à conserver (section 15.1.1.2).

La mise en œuvre de toute démolition (complète ou partielle) implique plusieurs opérations essentielles, notamment la réalisation des traits de scie ainsi que la protection des éléments en acier (armatures et poutres).

<u>Délimitation des surfaces (traits de scie)</u>

La réalisation de traits de scie autour des surfaces ou des éléments de pont à démolir a pour but d'empêcher l'éclatement du béton à conserver et d'obtenir une épaisseur minimale de nouveau béton au pourtour des réparations. Dans le cas d'une réparation, les traits de scie servent à optimiser la durée de vie du périmètre de la réparation, tant pour les surfaces horizontales que pour les surfaces verticales et le plafond.

Les traits de scie ont généralement une profondeur de 20 mm, mais celle-ci doit être diminuée lorsque le recouvrement de béton des armatures est moindre. La profondeur des traits de scie est de 10 mm lors de travaux nécessitant une réparation avec coffrages et surépaisseur, afin d'enlever une couche minimale de béton habituellement contaminé et d'avoir une rugosité favorisant l'adhérence du béton de réparation. Cette profondeur correspond aussi à celle de la démolition minimale pour ce type de réparation.

Mentionnons aussi que le fait d'interdire le croisement des traits de scie a pour but de diminuer le plus possible les dommages au béton à conserver.

Il est possible d'effectuer les traits de scie après la quasi-complétion des travaux de démolition partielle pour éviter de refaire un trait de scie à la suite de l'agrandissement possible des zones initialement délimitées. De plus, cette pratique permet de mieux localiser les armatures et d'ajuster au besoin la profondeur des traits de scie.

Protection des éléments en acier

Les armatures et les torons ne doivent pas être endommagés afin de préserver leur intégrité structurale. Si l'intégrité d'une armature est altérée par une encoche causée par un marteau, une scie à béton ou par un pliage répété, l'entrepreneur doit la remplacer à ses frais. Si un toron est endommagé, le surveillant se doit de consulter le concepteur. De plus, il lui faut s'assurer que le lien entre le béton et l'armature est préservé dans les zones non démolies au pourtour de la réparation.

Dans le cas de la réfection d'un élément, comme celle des côtés extérieurs d'un ouvrage, il est important de prendre toutes les précautions pour ne pas endommager les barres existantes qui sont à conserver et qui servent de chevauchement avec les nouvelles armatures afin de conserver la continuité structurale.

Lors de la démolition d'un ouvrage où des armatures existantes doivent être conservées, il peut cependant arriver que l'entrepreneur endommage ou sectionne quelques-unes des barres devant être conservées. Comme il s'agit d'une malfaçon de l'entrepreneur, ce dernier doit proposer une mesure corrective. Mentionnons tout de même que le soudage d'une nouvelle barre sur l'armature existante n'est pas acceptable, puisque les barres existantes sont habituellement fabriquées avec un acier non soudable. Le fait qu'un acier ne soit pas soudable ne signifie pas nécessairement que les barres ne peuvent pas être jointes par soudure; par contre, la soudure risque d'être inadéquate, puisque des fissures, non détectables lors d'une inspection visuelle, sont susceptibles de se développer dans le cordon durant son refroidissement. L'entrepreneur doit plutôt démolir localement du béton autour de la barre afin de réaliser une jointure par chevauchement ou, dans le pire des cas, forer un trou pour y ancrer une barre de remplacement. S'il est impossible de procéder ainsi, des jonctions mécaniques peuvent être employées ou une analyse métallurgique peut être effectuée pour évaluer la soudabilité des barres existantes; dans ce dernier cas, des conditions d'exécution peuvent être fixées après consultation avec la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère.

La protection des poutres et des diaphragmes en acier à conserver implique que l'enlèvement du béton en contact avec ces éléments doit se faire manuellement. Il faut absolument éviter que la tige des marteaux vienne marteler l'acier des poutres, des diaphragmes et des goujons afin de ne pas favoriser l'amorce d'une fissuration dans l'acier. L'enlèvement « manuel » de la couche de béton en contact avec le dessus de la semelle supérieure doit donc se faire en frappant le béton avec des outils manuels comme une masse ou en utilisant à la rigueur un ciseau pour décoller le béton fortement adhéré. Un jet d'eau haute pression pourrait également être employé.

Dans le cas où une poutre ou des goujons sont endommagés, l'entrepreneur devra corriger les défauts conformément à l'article 7.10 « Travaux défectueux ». Même si la solution doit, dans ce cas, être proposée par l'entrepreneur, mentionnons que les cavités superficielles (moins de 3 mm de profondeur environ) peuvent généralement être corrigées par meulage de façon à obtenir une surface lisse et sans arêtes. Le meulage doit être effectué dans le sens longitudinal de la poutre. Dans le cas de défauts plus profonds, le surveillant doit consulter le concepteur ou la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère pour déterminer si la correction proposée est adéquate.

Ajoutons que lorsque des scies à béton sont employées pour la démolition d'une dalle, les poutres et diaphragmes doivent être clairement marqués sur le dessus de la dalle afin d'éviter que les ouvriers ne scient par mégarde l'un de ces éléments de charpente. Les traits de scie dans les éléments structuraux comme les poutres sont effectivement très difficiles à réparer et peuvent, dans les cas très graves, conduire à une perte de capacité.

Récupération des matériaux de démolition

La procédure de récupération des matériaux de démolition est une mesure importante visant la protection de l'environnement et la sécurité des usagers circulant sous l'aire des travaux. Ce processus de récupération peut être complexe compte tenu du contexte des travaux et du milieu environnant; mentionnons entre autres certains paramètres liés à la santé et à la sécurité des travailleurs et des riverains tels que la poussière et le bruit. La poussière, qui est déjà un irritant non négligeable, peut devenir un enjeu important lors de la démolition du béton, puisque la poussière engendrée contient de la silice cristalline. De plus, l'enduit recouvrant le béton à démolir peut contenir des fibres d'amiante, et cela est alors mentionné dans le devis spécial; l'enlèvement de cet enduit doit être réalisé selon la réglementation en vigueur (processus très rigoureux).

Le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur respecte en tout temps la procédure de récupération des matériaux de démolition, laquelle apparait sur le plan de démolition dans le cas d'une démolition complète. Le surveillant doit également veiller à ce que l'entrepreneur respecte l'exigence qui consiste à installer une enceinte de confinement ou des dispositifs de protection dans le cas de travaux présentant un potentiel d'émission de particules ou d'autres débris exposant les usagers de la route à des risques.

1.2.1 Démolition complète

La démolition complète d'un ouvrage ou d'un de ses éléments est faite en fonction de ses caractéristiques structurales et de son état.

Dans le cas de travaux de démolition complète de tabliers ou de structures qui doivent être réalisés en phases, c'est-à-dire qu'une partie de l'ouvrage est démolie et qu'une autre partie doit demeurer ouverte à la circulation pour une certaine période, le CCDG exige une désolidarisation. L'entrepreneur doit alors séparer physiquement les deux parties de structure avant de procéder à la démolition proprement dite. En ce qui concerne les tabliers, cela signifie que la dalle doit être sciée ou démolie localement sur sa pleine longueur, tandis que les diaphragmes ou contreventements doivent être coupés ou démolis localement. De petits équipements ou des scies à béton sont exigés pour cette étape préalable à la démolition.

Cette exigence est nécessaire, car l'équipement permis pour la démolition de tabliers ou de structures est très puissant; il y a alors de réelles possibilités d'endommager la partie de structure qui doit rester ouverte à la circulation lors de la démolition de la première phase. Ces exigences de désolidarisation devraient apparaître sur le plan de démolition.

Plan de démolition

Un plan de démolition signé et scellé par un ingénieur est toujours requis (voir l'article 6.6.3 du CCDG). L'ingénieur ayant signé ce plan doit être présent sur le site au moins au début de la démolition de l'élément visé par le plan et à une étape critique ultérieure si nécessaire. Un ingénieur représentant celui qui a signé le plan doit tout de même être présent sur le chantier pour la suite des travaux de démolition. Le surveillant devrait également s'assurer que l'entrepreneur a transmis un avis écrit de démolition à la CNESST; une copie de l'accusé de réception envoyé par cette dernière, confirmant l'envoi du document, peut être demandée à l'entrepreneur.

Un plan de démolition est pleinement justifié pour éviter que l'ouvrage à démolir s'effondre prématurément. Mentionnons à titre d'exemple la démolition d'un tablier d'un pont à travées continues; ce type de démolition doit généralement se faire en séquences bien précises, avec parfois l'utilisation de supports temporaires. En cas de doute sur la faisabilité du plan proposé, le surveillant se doit de consulter le concepteur.

Réunion préalable

Une réunion préalable doit être tenue avec les représentants de l'entrepreneur (dont l'ingénieur qui a signé le plan de démolition) une fois le plan de démolition reçu et jugé complet, c'est-à-dire que le surveillant en a regardé le contenu et tous les éléments indiqués au CCDG y apparaissent, notamment le type d'équipement utilisé sa position pendant les différentes étapes de démolition. La présence du signataire du plan de démolition est essentielle, car ce dernier est celui qui est le mieux placé pour répondre aux questions de tous et commenter son plan au besoin. Idéalement, la réunion devrait se tenir au chantier afin de pouvoir y faire une visite de la structure à démolir. La

réunion doit avoir lieu sept jours avant le début des travaux de démolition, car cela laisse le temps à l'entrepreneur de tenir compte les commentaires formulés lors de la réunion pour ajuster, au besoin, les façons de faire qu'il avait prévu utiliser. Si le plan de démolition doit être modifié à la suite de la réunion, une version révisée devrait être produite et cette version doit être signée par l'ingénieur ayant assisté à la réunion, au même titre que la version d'origine.

Le CCDG fixe l'ordre du jour de cette réunion et il est important que chacun des points y soit abordé. Tout aspect non usuel de la démolition devrait aussi faire l'objet de points de discussion à l'ordre du jour.

Pontage

Dans le cas de la démolition d'une dalle sur des poutres, l'entrepreneur doit mettre en place un pontage entre les poutres vis-à-vis les voies de circulation sous l'ouvrage, incluant leurs accotements, afin de protéger les usagers de la route de toute chute d'objet, de débris, de béton frais, etc. Le pontage peut aussi servir de plate-forme de travail pour les ouvriers chargés de la mise en place et de l'enlèvement des coffrages de la dalle. Les exigences relatives au pontage font partie de celles qui concernent la mise en place du béton plastique des dalles (article 15.4.3.5.6 du CCDG).

Le pontage fait partie du plan de démolition d'une dalle sur poutres dans le sens qu'il sert notamment à empêcher les matériaux de démolition de se déverser sur les voies de circulation, notamment lors de la démolition de la portion de dalle située vis-à-vis des poutres. L'entrepreneur doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG pour la remise du plan de pontage, y compris le délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour les étudier et le nombre minimal de copies de plans à fournir selon le format ISO A1. La conception du plan de pontage doit répondre aux exigences du CCDG, notamment en ce qui concerne les poutres rectangulaires en béton où le pontage doit être fixé dans leur partie supérieure pour minimiser les risques d'endommager l'armature interne.

Le CCDG exige la mise en place du pontage entre les poutres seulement, car la mise en œuvre du pontage sur le porte-à-faux peut s'avérer complexe. Le plan de démolition de l'entrepreneur doit bien entendu être prévu en conséquence.

Le pontage est mis en place avant de commencer toute activité relative à la démolition de la dalle. Une fois construit, il doit être inspecté par un ingénieur de l'entrepreneur et ce dernier doit signer l'avis écrit que l'entrepreneur doit remettre au surveillant. L'ingénieur ne peut pas déléguer cette activité à une autre personne, car le Ministère tient à ce que l'inspection soit faite par un ingénieur compte tenu des graves conséquences qui peuvent découler d'un vice de construction.

Mentionnons que le surveillant doit tenir compte de la gestion de la circulation, notamment lors de la démolition de la partie de la dalle située entre les poutres; en effet, le pontage n'est habituellement pas conçu pour résister à la chute de gros blocs de béton.

1.2.2 Démolition partielle

Le surveillant doit s'assurer que le délai entre la démolition et la mise en place du nouveau béton ne dépasse pas deux mois. Cette exigence du CCDG est importante pour éviter, notamment, que des surfaces soient exposées aux embruns salins pendant la saison hivernale, ce qui contaminerait par des chlorures, le béton à conserver.

Le surveillant doit veiller à ce que le marteau soit opéré à un angle compris entre 45º et 60º par rapport à la surface démolie afin que l'énergie de choc soit concentrée et non pas diffuse; une énergie concentrée permet une démolition sans vibrations excessives sur le béton à conserver.

Types de réparations

Les documents contractuels font référence à deux types de réparations, soit avec ou sans surépaisseur de nouveau béton. Les réparations impliquant une augmentation de l'enrobage de béton au-dessus des armatures existantes sont considérées comme une réparation sans surépaisseur. Les réparations avec surépaisseur sont généralement associées à une intervention d'ensemble sur un élément.

Les prescriptions pour la démolition partielle associée à une réparation sans surépaisseur sont particulièrement exigeantes parce que le béton conservé doit être de bonne qualité pour que le nouveau béton puisse y adhérer fortement. De même, l'exigence de dégager de 25 mm les armatures devenues apparentes lors de la démolition est nécessaire pour enlever le béton contaminé par les chlorures à proximité des aciers afin de ralentir la corrosion de ceux-ci et pour ancrer le béton de la réparation.

Les prescriptions pour la démolition partielle associée à une réparation avec surépaisseur sont moins exigeantes, puisque ce type de réparation vise à envelopper ou à confiner un béton détérioré au moyen d'une couche importante de nouveau béton armé. L'ancrage du nouveau béton au substrat ne se fait pas seulement par adhérence, mais surtout par ancrage mécanique, lequel est fourni habituellement par les tirants des coffrages.

Pour ce qui est des dalles sur poutres, deux types de réparations, soit une réparation en surface et une réparation en profondeur, sont mentionnées au CCDG. Une réparation en profondeur s'impose lorsque l'épaisseur résiduelle de la dalle devient inférieure à 80 mm puisque l'intégrité du béton serait trop difficile à préserver à des épaisseurs moindres. De même, une réparation en profondeur est exigée pour restaurer le dessous d'une dalle sur poutres endommagé, puisqu'il est plus facile de procéder ainsi plutôt que par une réparation avec coffrages sans surépaisseur par le dessous.

En ce qui concerne les réparations de dalle épaisse, de trottoir, de piste cyclable ou de dessus de semelle, les réparations sont également divisées en réparation de surface et en réparation en profondeur. Pour la réparation de surface, le critère est similaire à celui des dalles sur poutres, à la différence qu'il est possible qu'aucune armature ne soit

interceptée lors de la démolition. Par conséquent, si un béton sain est rencontré à une profondeur de 60 mm sans qu'aucune armature ne soit exposée, la démolition sera alors jugée achevée. Le critère de réparation en profondeur est quant à lui plutôt fixé en fonction de la profondeur de la démolition.

Considérations structurales

L'entrepreneur doit veiller en tout temps à ce que les travaux de démolition ne compromettent pas la stabilité de la structure.

Bien qu'un plan de démolition ne soit généralement pas requis pour la démolition partielle, il est possible que les plans et devis l'exigent ou à tout le moins fassent mention de restrictions importantes (surtout pour les poutres, les chevêtres sur colonnes, les colonnes, les béquilles, les dalles épaisses et autres éléments structuralement sensibles) ou d'une limite de charge. Si les plans et devis ne font l'objet d'aucune restriction et que du béton doit être enlevé sur ces éléments jusqu'en dessous des armatures, le surveillant doit consulter le concepteur pour s'enquérir des mesures à prendre.

Mentionnons qu'il est explicitement prévu au CCDG que des travaux de démolition ne doivent pas être effectués sur deux colonnes adjacentes. Le dégagement des armatures peut entraîner une perte de capacité temporaire et compromettre ainsi la stabilité de la structure. Les colonnes doivent donc être réparées en alternance, ce qui permet de conserver une capacité relativement uniforme de l'unité de fondation sur toute la largeur du pont durant les travaux.

Avec ou sans plan de démolition, le surveillant doit être vigilant et s'assurer que tout enlèvement de béton détérioré se fait sans affecter de façon significative la capacité de l'élément. Il faut garder à l'esprit que le béton à démolir, même détérioré, a une certaine capacité et que le fait de l'enlever diminue l'aptitude de l'élément à résister aux charges qui lui sont appliquées. Si le surveillant a un doute relativement aux conséquences structurales que pourraient avoir les travaux de démolition en cours de réalisation, il doit suspendre les travaux et consulter le concepteur avant de poursuivre les opérations.

Il faut être particulièrement prudent lors de la démolition partielle de béton sur des éléments minces ou élancés comme une poutre, un diaphragme, une colonne ou un chevêtre. La même prudence est de mise lorsque des travaux de démolition se font à proximité des appuis de poutres; un support temporaire peut être nécessaire dans certains cas pour soutenir les charges pendant les travaux. En cas de doute, le surveillant doit consulter le concepteur pour obtenir son avis.

Dans le même ordre d'idées, il ne faut pas enlever du béton sain pour dégager les étriers de 25 mm lors de la démolition d'extrémités de poutres en béton précontraint par prétension. En effet, cette démolition peut entraîner l'endommagement des torons se trouvant à proximité. Le dégagement des étriers sur des poutres en béton précontraint par post-tension, qui sont des éléments plus massifs, peut par contre être réalisé dans certains cas; le surveillant se doit alors de consulter le concepteur. De plus, le

dégagement des armatures en tension d'une poutre doit s'effectuer sans en libérer les extrémités et sur une petite longueur à la fois, puisque le dégagement des armatures principales sur une longueur importante peut affecter de façon permanente la capacité de la poutre. Le même raisonnement s'applique aussi pour la réparation en profondeur d'une dalle épaisse ou des parois d'une poutre-caisson. Dans tous ces cas, il est recommandé au surveillant de solliciter l'avis du concepteur si les plans et devis lui semblent imprécis à cet égard.

Bien que cela arrive rarement, il se peut qu'aucune armature ne soit visible à la suite de l'enlèvement du béton d'un élément en béton armé, ou encore que l'armature soit enfouie plus profondément que prévu aux plans originaux. Il est alors prévu au devis spécial de suspendre les travaux de démolition partielle dès que l'armature prévue aux plans est absente ou enfouie plus profondément (recouvrement apparaissant aux plans originaux + 25 mm). Le surveillant doit alors consulter le concepteur et ne permettre la reprise des travaux qu'après la mise en œuvre des mesures qu'il pourrait recommander.

Délimitation des surfaces (béton sain)

Mentionnons que faire respecter les exigences associées à une démolition partielle n'est pas toujours facile sur le terrain. Lorsque l'entrepreneur se voit contraint de procéder à l'enlèvement d'un béton très dur, il peut être tenté d'utiliser un équipement plus puissant. Le surveillant doit alors insister sur le respect des exigences pour que la réparation soit de la meilleure qualité possible.

Bien que les éléments de structures à réparer soient généralement spécifiés dans les plans et devis, la première démarche du surveillant consiste à délimiter précisément les parties d'ouvrages à démolir. Ainsi, le surveillant est appelé à faire preuve de discernement pour déterminer si le béton sondé doit être enlevé ou conservé. L'ampleur de la démolition est un aspect qui peut parfois être difficile à gérer sur un chantier; une revue des critères de démolition devrait donc se faire lors d'une réunion de chantier préalable afin que les intervenants aient une compréhension identique des exigences. Des indications supplémentaires sur le marquage sont également données dans la section suivante.

Le béton à enlever peut être soit du béton de bonne qualité, comme dans le cas du dégagement des armatures devenues apparentes ou lors du regroupement de petites surfaces de béton endommagées, qu'il faut enlever sur une certaine profondeur, soit du béton de mauvaise qualité (généralement désagrégé ou délaminé).

Un béton de bonne qualité, un béton sain comme mentionné au CCDG, est un béton non délaminé dont les constituants restent encore reliés entre eux sous l'impact d'un marteau de maçon ou de géologue, béton considéré ainsi en assez bon état pour être conservé. Le surveillant devrait se référer à la partie 4.3.2 B) « Examen par percussion » du *Manuel d'entretien des structures* qui explique la façon de procéder pour évaluer la qualité du béton.

Même si le marteau de maçon ou de géologue est l'outil le plus couramment employé pour évaluer la qualité du béton à conserver, un marteau pneumatique à aiguilles peut aussi être utilisé. Une chaîne ayant des maillons d'environ 25 mm peut aussi être employée pour vérifier de façon sommaire si une dalle présente des zones de béton délaminé; une fois ces zones identifiées, il suffit de terminer la délimitation au moyen d'un marteau. Le surveillant peut se référer à la norme ASTM D-4580 pour connaître la façon d'utiliser une chaîne.

La délimitation complète des surfaces de dalle à réparer doit normalement se faire avant que l'entrepreneur commence les travaux de démolition; cette exigence s'impose pour permettre au surveillant d'évaluer la qualité du béton dans un environnement le moins bruyant possible. Elle est faite après l'enlèvement de l'enrobé par décapage et le nettoyage de base nécessaire pour la pose de la membrane d'étanchéité. Cette dernière exigence du CCDG est nécessaire afin que la surface puisse être sondée adéquatement.

Dans le cas de la délimitation des surfaces du dessous d'une dalle, le surveillant peut exiger, comme pour toute autre partie du pont, l'accès à toutes les surfaces. Bien que cette exigence du CCDG engendre des coûts importants pour l'entrepreneur, elle doit être respectée pour un projet où l'ampleur des dommages est importante. Par contre, pour un projet de moindre envergure, le surveillant devrait s'en tenir à l'accès aux surfaces qui sont normalement indiquées au devis spécial.

Marquage des surfaces

Le marquage des surfaces doit être effectué comme dans le cas d'une réparation de dalle ou d'une réparation avec coffrages sans surépaisseur. Ces indications sont tirées de l'activité 3101 « Réparation avec coffrages sans surépaisseur » du *Manuel d'entretien des structures.*

Dans le but d'avoir une meilleure performance à long terme, une forme carrée ou rectangulaire des surfaces à démolir devrait être favorisée, de façon à éviter tout angle inférieur à 90º entre deux côtés adjacents de la réparation. De même, le regroupement de petites surfaces très rapprochées (< 600 mm) est recommandé.

L'exigence relative à la démolition d'une zone de 150 mm de béton sain au pourtour du béton endommagé vise à enlever du béton fortement contaminé par les chlorures, de façon à augmenter la durée de vie de l'intervention.

Une peinture en aérosol est couramment utilisée pour visualiser le contour du béton à démolir.

Si les quantités de béton à enlever dépassent largement celles indiquées sur le bordereau, le surveillant doit en informer le concepteur surtout s'il a des doutes quant aux conséquences structurales de ce dépassement. De plus, dans le cas d'une dalle sur poutres, il pourrait être judicieux de ne pas procéder à sa réparation si son endommagement a été sous-évalué lors de la préparation des plans et devis. Dans ce

cas, le surveillant se doit de consulter le concepteur et le chargé d'activité du Ministère pour vérifier la pertinence de procéder comme prévu à la réparation plutôt qu'au remplacement éventuel de la dalle.

Nettoyage des surfaces

Un nettoyage fréquent des surfaces démolies est exigé afin d'être en mesure de bien suivre l'évolution de la démolition, de façon à ne pas enlever plus de béton que nécessaire. Lorsqu'un équipement d'hydrodémolition est utilisé, le CCDG exige suivant ce mode de démolition que l'entrepreneur nettoie rapidement au jet d'eau sous pression les surfaces à conserver avant leur assèchement afin d'éviter que les résidus (pâte collante) se solidifient, puisqu'une fois durcis, ceux-ci sont très difficiles à enlever.

Comme il n'est pas possible de nettoyer convenablement un béton souillé par des matières huileuses, tout équipement ayant des fuites d'huile doit être immédiatement retiré du chantier. Le béton souillé doit normalement être remplacé selon le mode de réparation prévu dans les documents contractuels.

L'exigence de l'article 6.11 « Utilisation des ouvrages d'art » du CCDG est importante afin de limiter le dépôt de matériaux sur le tablier et provenant de la démolition d'ouvrages existants. Il en est de même pour le poids des équipements utilisés lors des travaux. Cette exigence est nécessaire pour éviter d'imposer des charges mortes trop importantes au système structural et éviter ainsi son endommagement, voire l'effondrement de l'ouvrage. Le surveillant se doit donc d'être très vigilant, suspendre au besoin les travaux et faire immédiatement corriger la situation.

Profil de surface minimal

Dans le cas de surfaces de béton existant sur lesquels du nouveau béton doit être mis en place, notamment lors d'une réparation avec coffrages et surépaisseur, le surveillant doit s'assurer, qu'une fois la démolition partielle terminée, que le profil de surface minimal du béton à conserver corresponde à la plaquette étalon CSP 7 de l'*International Concrete Repair Institute* (ICRI). Cette exigence du devis spécial est importante afin d'avoir un lien le plus fort possible entre le béton à conserver et le nouveau béton d'où, notamment une meilleure durabilité de la réparation.

La plaquette étalon fait partie du document *Technical Guideline N^{o} 0310.2R* publié par l'ICRI. Le surveillant doit s'assurer de commander à l'avance le document pour l'avoir en main lors des travaux.

PHOTOGRAPHIES

DÉMOLITION DES OUVRAGES EXISTANTS



Scie à béton



Enlèvement des parties de dalle sciées



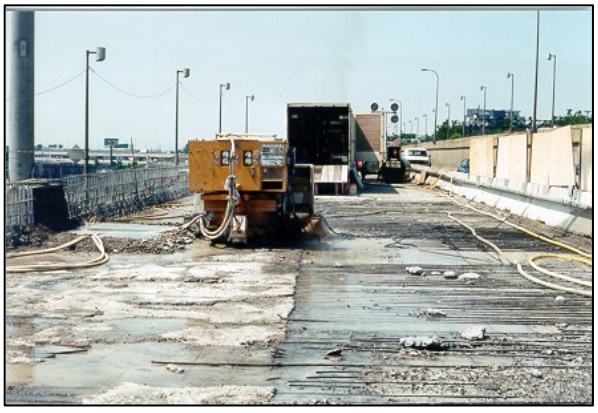
Démolition partielle avec marteaux pneumatiques 7 kg



Enlèvement de parties métalliques de joint avec marteau hydraulique 200 J



Démolition de glissière avec marteau hydraulique 350 J



Hydrodémolition sur dalle



Utilisation d'un équipement de support pour marteau pneumatique manuel

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 1 – DÉMOLITION DES OUVRAGES EXISTANTS

MATÉRIEL

Conformité du matériel proposé

- Voir l'annexe « Matériel de démolition autorisé » au devis spécial
- Voir le texte du chapitre pour plus d'information au sujet des équipements de démolition autorisés
- Réduire capacité d'un équipement autorisé si armatures ou béton à conserver est endommagé
- Voir les fiches techniques et tableau 1.1-1 pour marteaux hydrauliques < 200 J et 350 J)
- Démolition complète (en fonction de l'élément de pont à démolir)
  - Dalle sur poutres
    - → Scie à béton (jusqu'à 100 mm poutres et diaphragmes) ou marteau hydraulique < 200 J (véhicule porteur < 1 500 kg) jusqu'à 300 mm poutres et diaphragmes en béton ou marteau hydraulique < 350 J (véhicule porteur < 3 000 kg) jusqu'à 100 mm poutres et diaphragmes en acier
    - → Béton à proximité et au-dessus des poutres
      - Béton au-dessus de la nappe inférieure d'armature : marteau pneumatique manuel < 30 kg ou marteau hydraulique < 60 J (véhicule porteur < 1 000 kg)
      - Béton au niveau et en dessous de la nappe inférieure d'armature : marteau pneumatique manuel < 7 kg
      - Béton immédiatement au-dessus de poutres en acier : manuellement (masse, jet d'eau haute pression…)
  - Côté extérieur d'une dalle
    - → Dalle sur poutres
      - Marteau hydraulique < 350 J (véhicule porteur < 3 000 kg) jusqu'à 300 mm poutres en béton ou jusqu'à 100 mm poutres en acier ou brise-béton de type cisaille jusqu'à 300 mm des poutres
      - Béton à proximité et au-dessus des poutres
        - Béton au-dessus de la nappe inférieure d'armature : marteau pneumatique manuel < 30 kg ou marteau hydraulique < 60 J (véhicule porteur < 1 000 kg)
        - Béton au niveau et en dessous de la nappe inférieure d'armature : marteau pneumatique manuel < 7 kg
        - Béton immédiatement au-dessus de poutres en acier : manuellement (masse, jet d'eau haute pression…)
    - → Dalle épaisse pleine
      - Marteau hydraulique < 350 J (véhicule porteur < 3 000 kg) jusqu'à 100 mm du béton à conserver ou brise-béton de type cisaille jusqu'à 300 mm du béton à conserver
      - Béton à proximité du béton à conserver : marteau pneumatique manuel < 15 kg
  - Dalle de transition
    - → Marteau hydraulique < 350 J (véhicule porteur < 3000 kg) ou brise-béton de type cisaille jusqu'à 300 mm du garde-grève
      - Béton à proximité du garde-grève : marteau pneumatique manuel < 15 kg

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Trottoir, piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle, chasse-roue ou glissière en béton
  → Trottoir, piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle ou chasse-roue : marteau pneumatique manuel < 30 kg ou marteau hydraulique < 60 J (véhicule porteur < 1 000 kg)
  → Glissière en béton :
    - Marteau hydraulique < 350 J (véhicule porteur < 3 000 kg) ou brise-béton de type cisaille jusqu'à 100 mm du béton de la dalle
    - Béton à proximité du béton de la dalle : marteau pneumatique manuel < 15 kg
  → Éléments en acier intégrés à un chasse-roue, un trottoir ou une piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle : marteau hydraulique < 200 J (véhicule porteur < 1 500 kg)
- Remplacement ou élimination d'un joint de tablier
  → Épaulement et dalle
    - Marteau pneumatique manuel < 30 kg ou marteau hydraulique < 60 J (véhicule porteur < 1 000 kg)
    - Béton au niveau et en dessous de la nappe inférieure d'armature (au-dessus poutres et diaphragmes) : marteau pneumatique manuel < 7 kg
  → Garde-grève < 450 mm
    - Marteau pneumatique manuel < 30 kg ou marteau hydraulique < 60 J (véhicule porteur < 1 000 kg) jusqu'à 100 mm du béton à conserver
    - Béton à proximité du béton à conserver : marteau pneumatique manuel < 15 kg
  → Garde-Grève > 450 mm
    - Marteau hydraulique < 200 J (véhicule porteur < 1 500 kg) jusqu'à 100 mm du béton à conserver
    - Béton à proximité du béton à conserver : marteau pneumatique manuel < 15 kg
  → Éléments en acier : marteau hydraulique < 200 J (véhicule porteur < 1 500 kg)
- Tablier : marteau hydraulique < 1 000 J (véhicule porteur < 10 000 kg)

– Démolition partielle (en fonction de l'étape de démolition)
- Béton au-dessus de la 1re nappe d'armature
  → Poutres, diaphragmes, colonnes, socles d'appui, chevêtres, dalles épaisses évidées et autres éléments structuralement sensibles : marteau pneumatique manuel < 15 kg
  → Semelles, culées, piles, murs et dalles épaisses pleines > 450 mm :
    - Réparations avec surépaisseur, surfaces non délaminées: Marteau pneumatique manuel < 30 kg ou marteau hydraulique < 60 J (véhicule porteur < 1 000 kg)
    - Autres surfaces: Marteau hydraulique < 200 J (véhicule porteur < 1 500 kg)
  → Autres éléments
    - Marteau pneumatique manuel < 30 kg ou marteau hydraulique < 60 J (véhicule porteur < 1 000 kg)
- Béton au niveau et en dessous de la 1re nappe d'armature
  → Poutres, diaphragmes, colonnes, socles d'appui, chevêtres, dalles épaisses évidées et autres éléments minces ou élancés : marteau pneumatique manuel < 7 kg
  → Autres éléments de pont : marteau pneumatique manuel < 15 kg
- Béton au niveau et en dessous de la nappe inférieure d'armature
  → Poutres et diaphragmes : marteau pneumatique manuel < 7 kg
- Béton à enlever lors de réparation avec coffrages et surépaisseur
  → Jet d'eau sous pression (15 MPa ou 2 250 lb/po^2)

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Hydrodémolition : solution de rechange acceptable si résultats comparables
  → Faire essai d'étalonnage lorsqu'un équipement automoteur est utilisé
- L'utilisation d'un positionneur-activateur pour marteau pneumatique (P.A.M.) est permise pour les marteaux de 15 kg

MISE EN ŒUVRE

Général

- Dépôt du plan de récupération des matériaux de démolition
  - S'assurer que les méthodes de récupération des matériaux de démolition sont respectées
  - Vérifier la gestion des poussières (silice cristalline, fibres d'amiante)
- S'assurer que les poutres sont localisées par marquage lors d'une démolition d'une dalle
- Avoir accès aux zones de démolition (délimitation des surfaces et travaux)
- Ne pas utiliser plus d'un marteau hydraulique dans un rayon de 5 m
- Opérer les marteaux à un angle compris entre 45º et 60º
- Largeur de l'extrémité de la tige du marteau plus petite que diamètre de la tige
- Faire retirer du chantier tout matériel de démolition ayant des fuites d'huile

Trait de scie

- 20 mm, à moins d'un recouvrement de béton moindre
- 10 mm pour une réparation avec coffrages et surépaisseur
- Pas de croisement des traits de scie

Protection des éléments à conserver

- Armature (à remplacer au besoin aux frais de l'entrepreneur)
- Béton à conserver
- Le surveillant peut demander à tout moment une réduction de la capacité des équipements s'il constate des dommages

Démolition complète

- Dépôt du plan de démolition
  - Vérifier si signé par un ingénieur
  - Vérifier la présence de l'ingénieur ayant signé le plan (premier quart de travail) ou son représentant (ingénieur) sur le site
  - Vérifier si avis écrit transmis à la CSST
- Réunion préalable (Démolition complète de pont ou de tablier)
  - Une fois le plan de démolition complété, 7 jours avant la démolition
  - Avec le représentant de l'entrepreneur et le signataire du plan de démolition
  - À faire idéalement au chantier
  - Points à aborder dans le CCDG
- Tabliers et structures, travaux en phases : désolidarisation des parties à conserver avant le début de la démolition

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Démolition de tablier en phases : partie de pont ouverte à la circulation que sur une seule voie (supportée que par 2 poutres à âme pleine ou 1 poutre caisson), panneaux « Limitation de poids aux charges légales » à mettre en place si le pont existant est sans affichage de limitation de poids
- Si pont à démolir ne nuit pas à la construction du nouvel ouvrage
  - Section originale de la rivière à restaurer
  - Piles, culées et pieux à démolir jusqu'à 1 m sous le niveau du sol. Si en dessous d'une voie de circulation de la route projetée
    → Démolir toute portion d'élément située à moins de 2,5 m sous le profil final de la route projetée
- Pontage (démolition de dalle sur poutres) voir l'article 15.4.3.5.6 du CCDG
  - Plan de pontage à fournir (voir l'article 6.6 du CCDG)
    → Entre les poutres
    → Vis-à-vis les voies de circulation sous l'ouvrage (y compris leurs accotements)
  - Mise en place avant la démolition de la dalle
    → Avis écrit signé par un ingénieur ayant inspecté lui-même le pontage

Démolition partielle

- Délai maximal de 2 mois entre la démolition et la mise en place du nouveau béton
- Réparations avec augmentation du recouvrement considérées comme réparations sans surépaisseur
- Profondeur minimale de démolition
- Types de réparation
  - Réparation avec coffrages et surépaisseur : 10 mm + béton de mauvaise qualité
  - Réparation avec coffrages sans surépaisseur : 100 mm + béton non sain (ajouter 25 mm au besoin pour dégager les armatures devenues apparentes)
    → Si béton autoplaçant utilisé : 100 mm remplacé par 80 mm
  - Réparation avec béton projeté : 60 mm + béton non sain (ajouter 25 mm au besoin pour dégager les armatures devenues apparentes)
  - Dalle sur poutres (en surface) : 25 mm derrière le 1er rang d'armature + béton non sain
  - Dalle sur poutres (dessous de dalle) : faire réparation en profondeur
  - Dalle épaisse, trottoir ou piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle (en surface) : la plus petite des 2 valeurs [60 mm ou 25 mm derrière le 1er rang d'armature] + béton non sain
  - Enlever tout le béton non sain (désagrégé ou délaminé)
- Considérations structurales
  - Ne pas compromettre la stabilité de l'ouvrage
    → Dépôt du plan de démolition lorsque requis au devis
    → Voir les restrictions au devis spécial
    → Vérifier si capacité de l'ouvrage doit être réduite
    → Respecter le plan de démolition
  - Précautions lors du dégagement de l'armature des poutres (béton armé ou précontraint)
    → Suspendre démolition si armature absente sur l'épaisseur indiquée au devis spécial
  - Précautions pour éléments minces ou élancés
  - Ne pas toucher le dessus des poutres en acier avec tige des marteaux
  - Pas de travaux sur deux colonnes adjacentes
  - Chevauchement minimal des armatures à remplacer : 600 mm
  - En cas de doutes, suspendre les travaux et consulter le concepteur

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Délimitation des surfaces pour réparations isolées (béton sain)
  - Se référer à la partie 4.3.2 B du *Manuel d'entretien des structures*
  - Ajouter 150 mm au pourtour des zones endommagées
  - Favoriser une forme carrée ou rectangulaire des surfaces
  - Regroupement de petites surfaces à démolir très rapprochées (< 600 mm)
  - Dalle
    - → À faire après décapage de l'enrobé et nettoyage de base pour membrane d'étanchéité
    - → À faire avant le début de la démolition
    - → Marquer la localisation des poutres sur le dessus de la dalle (peinture en aérosol)
    - → Dessous de dalle : accès total exigé dans le CCDG ou accès limité selon devis
- Nettoyage des surfaces
  - Nettoyer fréquemment les surfaces démolies
  - Nettoyer les surfaces à conserver avant l'assèchement des résidus d'hydrodémolition
- Démolition
  - Enlever tout le béton non sain (désagrégé ou délaminé)
  - Profondeur minimale de démolition
    - → Réparation avec coffrages et surépaisseur : 10 mm + béton de mauvaise qualité
    - → Réparation avec coffrages sans surépaisseur : 100 mm + béton non sain (ajouter 25 mm au besoin pour dégager les armatures devenues apparentes)
      - Si béton autoplaçant utilisé : 100 mm remplacé par 80 mm
    - → Réparation avec béton projeté : 60 mm + béton non sain (ajouter 25 mm au besoin pour dégager les armatures devenues apparentes)
    - → Dalle sur poutres (en surface) : 25 mm derrière le 1er rang d'armature + béton non sain
    - → Dalle sur poutres (dessous de dalle) : faire réparation en profondeur
    - → Dalle épaisse, trottoir ou piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle (en surface) : la plus petite des 2 valeurs [60 mm ou 25 mm derrière le 1er rang d'armature] + béton non sain
  - Profil de surface minimal (surfaces de béton existant à recouvrir de nouveau béton, notamment lors de la réparation avec coffrages et surépaisseur)
    - → Après la démolition : profil minimal selon plaquette étalon CSP 7 (International Concrete Repair Institute)

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

CHAPITRE 2

FONDATIONS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **2-1**

NORMES **2-1**

2.1 DOCUMENTS REQUIS **2-1**

2.2 EXIGENCES DE CONCEPTION **2-3**

2.3 MATÉRIAUX **2-7**

2.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ **2-8**

2.5 MISE EN ŒUVRE **2-8**

2.5.1 Batardeau 2-9
2.5.2 Soutènement temporaire 2-15
2.5.3 Excavations 2-16
2.5.4 Coussin 2-21
2.5.5 Remplissage des excavations et remblai 2-22
2.5.6 Revêtement de protection 2-27

FIGURES

Figure 2.2-1	Batardeau en terre – Exemple de réalisation	2-5
Figure 2.2-2	Batardeau en palplanches métalliques – Exemple	2-6
Figure 2.5-1	Remplissage des excavations et mise en place du remblai à proximité d'une culée (extrait du *Tome II – Chapitre 1, DN-023*, de la norme du Ministère)	2-24
Figure 2.5-2	Remblayage d'un ponceau métallique – suivi de la déformation	2-27
Figure 2.5-3	Coupe type d'un revêtement en pierres	2-28

TABLEAU

Tableau 2.5-1	Modes de rupture d'un batardeau en palplanches métalliques	2-14

PHOTOGRAPHIES **2-31**

AIDE-MÉMOIRE **2-35**

INTRODUCTION

Les travaux d'excavation constituent généralement la première étape de la réalisation d'un ouvrage. Puisque les méthodes d'excavation sont déjà bien connues de la plupart des surveillants, seules les particularités liées aux structures sont présentées dans ce chapitre.

En plus du *Cahier des charges et devis généraux* (CCDG), des plans, devis et bordereaux et des recommandations et mises en garde contenues dans l'étude géotechnique qu'il doit consulter, le surveillant doit se référer aux normes du Ministère, plus particulièrement à celles du *Tome III – Ouvrages d'art* et du *Tome VII – Matériaux*. Ces documents font aussi référence à d'autres normes, lois et règlements. Parmi ceux-ci, le Code de sécurité pour les travaux de construction est un document que le surveillant doit avoir en sa possession afin de s'assurer au besoin que l'entrepreneur respecte bien les règles portant sur la sécurité au chantier.

Les travaux d'excavation incluent l'excavation elle-même, la préparation et l'assèchement de l'excavation, son remplissage et la mise en place du remblai. La mise en place d'un batardeau ou d'un soutènement temporaire fait partie des travaux de fondation lorsque ceux-ci sont nécessaires à la réalisation des travaux d'excavation. L'utilisation d'un coussin de propreté ou de support, bien que ne faisant pas partie des travaux d'excavation comme tels, est parfois requise entre un fond d'excavation et l'ouvrage à construire.

Les revêtements de protection sont utilisés pour protéger des surfaces contre l'érosion pouvant résulter de fortes vitesses d'écoulement d'un cours d'eau. Ils permettent en outre de protéger les remblais contre l'érosion et le lit des cours d'eau contre l'affouillement. De plus, les revêtements de protection sont employés pour recouvrir les talus des ponts d'étagement.

NORMES

Afin d'alléger le texte, la description complète des normes citées dans le présent chapitre est faite ici. Ces normes sont :

- Norme NQ 2560-114 : Travaux de génie civil – Granulats
- Norme 3101 du Ministère : Bétons de masse volumique normale

Mentionnons que les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ).

2.1 DOCUMENTS REQUIS

L'entrepreneur doit fournir le plan du batardeau en terre ou en palplanches métalliques; ce plan doit être signé et scellé par un ingénieur. Cette exigence du CCDG s'explique

compte tenu des charges importantes imposées au batardeau et aux graves conséquences qui en résulteraient en cas de rupture. En effet, un batardeau est un ouvrage complexe qui doit faire l'objet d'une conception très soignée de la part de l'ingénieur de l'entrepreneur. Cette conception doit tenir compte des différentes charges possibles à toutes les phases de sollicitations de l'ouvrage, notamment durant sa construction ainsi qu'avant et après l'assèchement du batardeau selon les niveaux des eaux hautes et basses. De plus, la condition des sols en place doit être prise en compte lors de la conception du batardeau.

Le plan du batardeau devrait contenir les renseignements suivants :

- les dimensions finales de l'élément à bétonner;
- les dimensions du batardeau, incluant celles du chemin d'accès aux étapes critiques de mise en œuvre, et la longueur de la fiche d'un batardeau en palplanches;
- les caractéristiques des matériaux utilisés, notamment la nuance et la désignation des pièces métalliques d'un batardeau en palplanches, et, pour un batardeau en terre, la nature des sols utilisés;
- le niveau des eaux hautes en tenant compte de la modification de la section d'écoulement;
- les caractéristiques et le niveau des sols en place;
- les surcharges de construction, y compris l'équipement requis pour l'assèchement (minimum recommandé de 10 kN/m^2).

L'entrepreneur doit fournir le plan du soutènement, lequel doit être signé et scellé par un ingénieur. Cette exigence du CCDG est justifiée compte tenu des charges importantes imposées au soutènement et aux graves conséquences qui en résulteraient en cas de rupture.

Le plan du soutènement temporaire devrait contenir les renseignements suivants :

- les dimensions du soutènement aux étapes critiques de mise en œuvre, ainsi que la longueur de la fiche d'un soutènement en palplanches ou berlinois;
- les caractéristiques des matériaux utilisés notamment la nuance et la désignation des pièces métalliques d'un soutènement en palplanches;
- les caractéristiques et le niveau des sols en place.

Le plan nécessaire à la construction du batardeau ou du soutènement temporaire doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG, notamment celles relatives au délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour étudier les plans. Ce plan n'a pas à être visé ni par le surveillant ni par le concepteur, puisqu'ils concernent des ouvrages temporaires. Par contre, le surveillant doit le vérifier de façon à s'assurer que les ouvrages qui y sont décrits semblent convenir aux fins spécifiées au CCDG, qu'ils correspondent bien aux dimensions de l'élément à bétonner et au site des travaux. Il doit également s'assurer

qu'il n'y a pas de conflit entre les composants d'un batardeau en palplanches et la fondation. S'il juge qu'un ou l'autre de ces aspects n'est pas respecté, il doit faire les interventions qu'il croit nécessaires auprès de l'entrepreneur. Il doit de plus s'assurer que le plan est signé et scellé par un ingénieur.

2.2 EXIGENCES DE CONCEPTION

a) Batardeau

À moins que cela ne soit spécifié dans les plans et devis, le surveillant n'intervient pas dans le choix du type de batardeau. Le choix entre un batardeau en terre et un batardeau en palplanches est déterminé selon différents critères, notamment la profondeur de l'eau, la section d'écoulement, la nature du sol en place, l'accès au site et les exigences environnementales.

La section d'écoulement naturelle du cours d'eau est un des critères les plus importants que l'entrepreneur doit considérer. En effet, l'écoulement de l'eau, confiné dans un espace plus restreint à cause de la présence du batardeau, n'occasionne pas de problèmes si le cours d'eau n'a pas un débit trop élevé. Dans ce cas, un batardeau en terre est probablement le type de batardeau le plus approprié.

Par contre, s'il s'agit d'une rivière importante ayant un débit élevé, la réduction de la section d'écoulement de l'eau peut entraîner une hausse du niveau de la rivière ainsi qu'une augmentation importante de la vitesse du courant. Les risques d'érosion sont donc plus élevés et le batardeau, plus difficile à assécher si c'est un batardeau en terre qui est utilisé. De plus, ce type de batardeau requiert une surveillance constante et un entretien presque quotidien nécessitant généralement la mise en place de pierres aux endroits où l'érosion va se manifester. Compte tenu aussi des exigences de l'article 10.4.3.1 « Protection des plans d'eau » du CCDG quant à l'obligation d'éviter de créer un impact négatif sur la libre circulation de l'eau, l'utilisation d'un batardeau en palplanches constitue alors probablement le meilleur choix. En effet, la réduction de la section d'écoulement est beaucoup plus faible avec ce type de batardeau. Mentionnons qu'un empiètement de l'ordre de 50 % sur la section d'écoulement du cours d'eau, incluant celui causé par le chemin d'accès, est rarement dépassé sans qu'il y ait un impact négatif significatif sur l'écoulement de l'eau. Une entente survenue en 2013 entre trois ministères, le ministère des Transports du Québec (MTQ), le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), et le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), permet une obstruction pouvant atteindre un tiers de la section hydraulique, sous certaines conditions préétablies. Pour obtenir cette entente, une demande doit être faite à l'adresse courriel suivante :

formations.ds@transports.gouv.qc.ca

L'entrepreneur doit être prudent dans le dimensionnement de la hauteur du batardeau et doit éviter de se fier aux niveaux d'eau indiqués sur les plans de conception lorsque

les batardeaux entravent une partie de l'écoulement. Les niveaux d'eau des plans sont en effet déterminés pour un écoulement normal avec la future structure. Toute réduction de l'écoulement aura donc tendance à faire augmenter ces niveaux d'eau.

Pour une fondation qui repose sur le roc et compte tenu des difficultés à mettre en place les palplanches, un batardeau en terre peut être plus adapté s'il est possible de l'étancher. Par contre, sur un fond en matériau granulaire, le batardeau en palplanches permet d'obtenir plus facilement la fiche voulue pour la réalisation de l'ouvrage; rappelons que la fiche est définie comme la profondeur de la palplanche sous le niveau du fond de l'excavation.

Plusieurs facteurs doivent également être pris en compte lors de la conception d'un batardeau. Ce sont, entre autres, la pression de l'eau et des terres, les équipements de construction requis, les dimensions des unités de fondation, l'action du courant et, s'il y a lieu, celle des glaces et des vagues. De plus, il faut tenir compte de l'intégrité des sols sous la fondation, dont le phénomène de boulance.

Batardeau en terre

Le batardeau en terre est un remblai constitué d'un noyau d'étanchéité, d'une couverture faite d'un matériau plus grossier et d'une carapace de protection en pierre. Il arrive parfois que l'entrepreneur utilise une membrane imperméable pour remplacer le noyau. La figure 2.2-1 montre une coupe type d'un batardeau en terre.

Les sols utilisés ne doivent pas contenir plus de 10 % de matières fines passant le tamis de 80 microns à moins qu'ils ne soient confinés. Cette importante contrainte oblige l'entrepreneur à utiliser un sol ayant une granulométrie adaptée pour offrir une étanchéité maximale tout en respectant le CCDG. Les sols utilisés devraient donc avoir une granulométrie étalée de façon à ce que la grosseur des différentes particules soit variée afin de diminuer le plus possible les vides. Ces sols ne se trouvent pas partout et la solution de remplacement consisterait à faire un noyau d'étanchéité à l'aide d'un sol contenant plus de 10 % de matières fines au centre du remblai et à utiliser un géotextile pour retenir les particules fines et éviter ainsi leur dispersement dans le cours d'eau.

Lorsque le batardeau est construit en hiver, l'entrepreneur doit éviter d'intégrer des masses gelées au sol utilisé afin de prévenir des infiltrations d'eau ou une rupture de l'ouvrage en cas de rehaussement de la température.

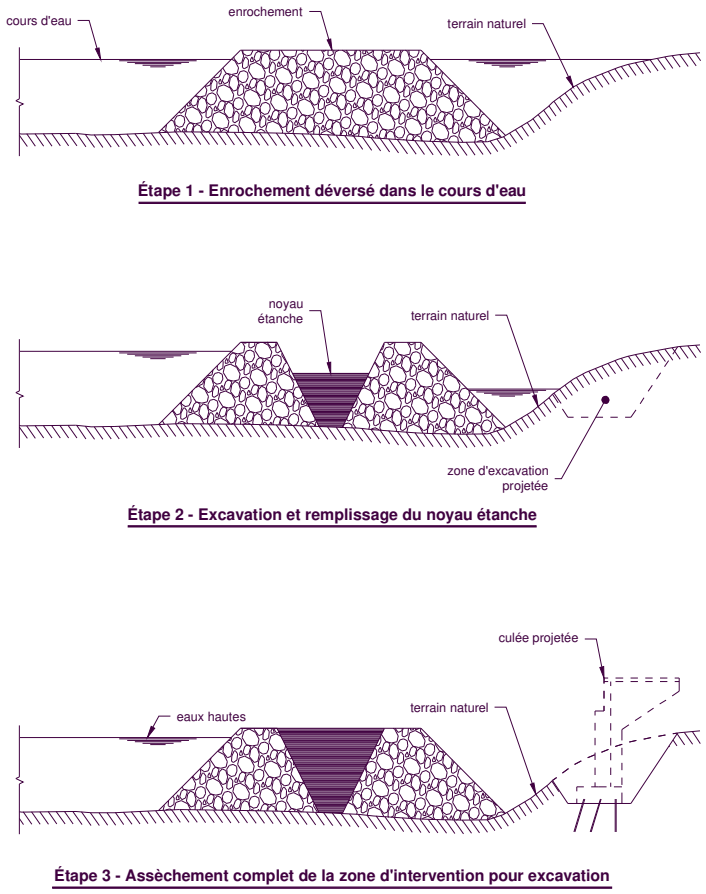


Figure 2.2-1 Batardeau en terre – Exemple de réalisation

Batardeau en palplanches métalliques

Le batardeau en palplanches métalliques est une paroi verticale constituée de palplanches fichées dans le sol et rigidifiées au moyen d'étaiements intérieurs appelés liernes et moises. Si nécessaire en raison d'une trop grande amenée d'eau par le fond, une base d'étanchement est bétonnée sous l'eau pour créer un bouchon au fond du batardeau afin d'assurer la stabilité et l'étanchéité de celui-ci. La figure 2.2-2 montre une coupe d'un batardeau en palplanches métalliques et la terminologie employée pour désigner les différents composants.

La technique de construction d'un batardeau en palplanches métalliques la plus courante consiste à d'abord faire la mise en place des pieux-guides temporaires pour assurer le positionnement adéquat des liernes du batardeau. Les palplanches sont ensuite enfilées et foncées à l'aide d'un marteau ou d'un vibrofonceur sur le pourtour des liernes.

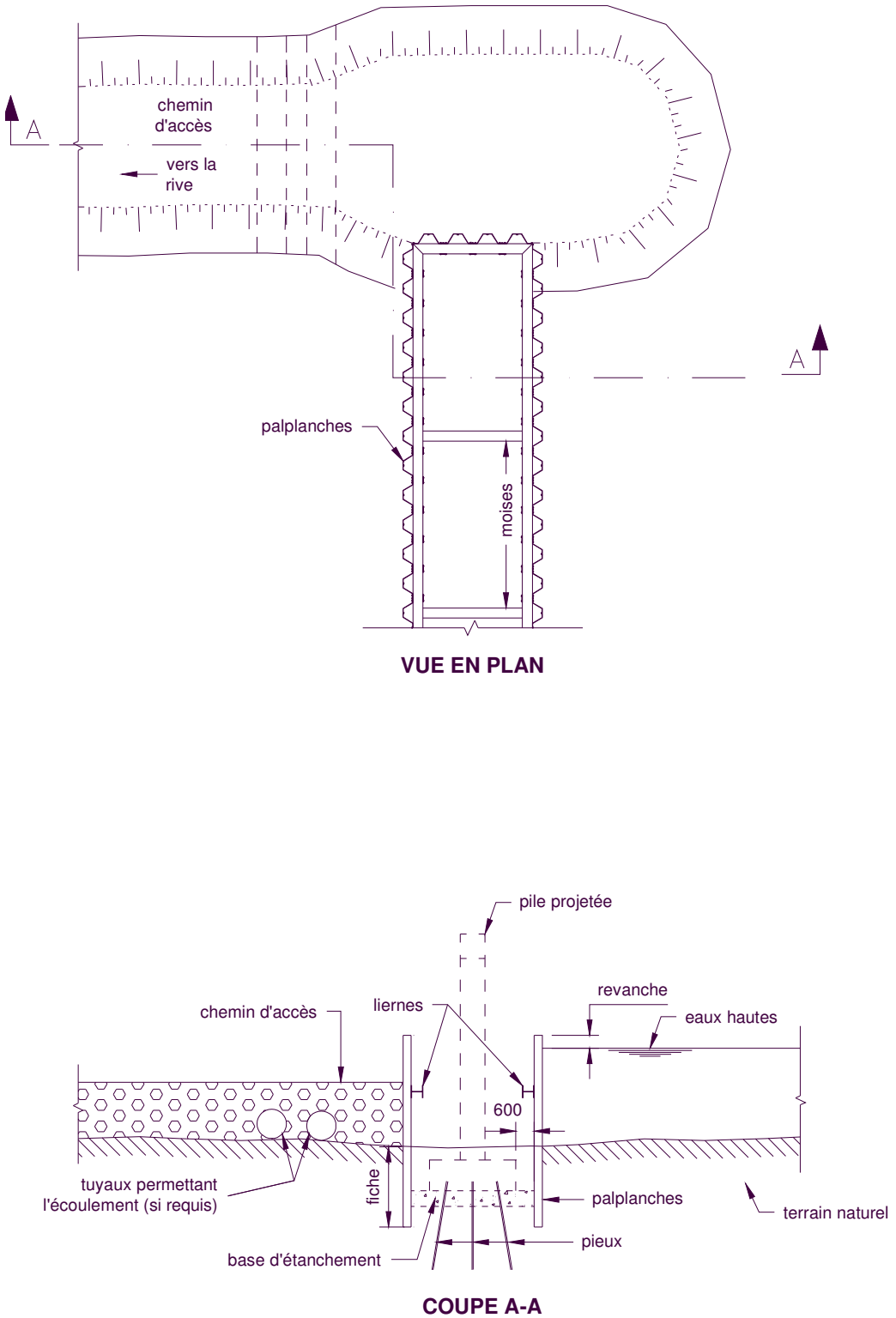


Figure 2.2-2 Batardeau en palplanches métalliques – Exemple

Chemin d'accès

La réalisation d'un batardeau en rivière requiert la mise en place d'un chemin d'accès ou l'utilisation d'une barge afin d'acheminer les matériaux nécessaires.

Dans certaines circonstances, des ponceaux ou un pont temporaire dans le chemin d'accès doivent être construits pour maintenir une section d'écoulement de l'eau acceptable. Dans tous les cas, le niveau du chemin d'accès devrait être suffisamment bas pour permettre l'écoulement des eaux lors d'une crue. Si le chemin d'accès n'est pas une option envisageable, il est possible d'utiliser un pont temporaire ou des barges pour la réalisation des travaux.

Les matériaux employés pour la réalisation des chemins d'accès doivent respecter les mêmes exigences que celles requises pour la construction d'un batardeau en terre.

b) Soutènement temporaire

Un soutènement temporaire est un ouvrage destiné à retenir des sols afin de permettre l'exécution sécuritaire des travaux d'excavation lorsque les pentes d'excavation sont plus prononcées que celles permises par la nature des sols en place. Des ouvrages de soutènement peuvent être spécifiés dans les plans et devis ou tout simplement utilisés par un entrepreneur qui veut limiter l'envergure des excavations tout en assurant la stabilité des parois.

Le soutènement est une paroi verticale constituée de palplanches métalliques fichées dans le sol ou de pieux fichés dans le sol avec un parement en bois entre ces derniers; dans ce dernier cas, le soutènement est appelé « mur berlinois ». Il peut aussi être constitué notamment de simples blocs de béton empilés ou de gabions.

Plusieurs facteurs doivent être pris en compte lors de la conception d'un soutènement temporaire. Ce sont, entre autres, la pression des terres, les équipements de construction requis, les dimensions des unités de fondation et la présence s'il y a lieu des ouvrages existants. De plus, il faut tenir compte de l'intégrité des sols sous la fondation, dont le phénomène de boulance.

2.3 MATÉRIAUX

Les pierres utilisées pour la construction des revêtements doivent être conformes aux exigences de la norme 14501 du Ministère, notamment celles relatives à la provenance des pierres (pierres de carrière provenant du dynamitage ou des pierres d'une sablière provenant du concassage). Pour les pierres de sablière, le rapport de concassage, tel que défini à la norme, doit être égal ou supérieur à 4, car il est très important d'avoir des pierres anguleuses qui demeureront bien en place à court et à long terme (pierres des champs à éviter). Pour les pierres autres que les pierres de nature ignée ou granitique, une analyse qualitative doit être faite par un géologue ou un ingénieur en géologie pour confirmer que la pierre est massive, concassée avec des arêtes vives (que le rapport de concassage est respecté dans le cas des pierres de sablière), et qu'il n'y a pas

présence de matériaux gélifs et de plans de faiblesse susceptibles de provoquer la fragmentation de la pierre lors de la mise en place. Cette analyse doit faire partie de l'attestation de conformité que l'entrepreneur doit remettre au surveillant au moins sept jours avant la première livraison de pierres. Le surveillant doit donc s'assurer que l'entrepreneur lui remet l'attestation de conformité des pierres avant les travaux; il faut parfois insister fortement pour l'obtenir. L'attestation doit aussi contenir les informations suivantes :

- le calibre minimal et le calibre maximal des pierres. Ainsi, lorsqu'une pierre 300-500 est exigée, le calibre minimal devrait être de 300 mm et le calibre maximal, de 500 mm. Le respect du calibre minimal est particulièrement important, car une pierre trop petite risque de se déplacer lors des crues;
- le pourcentage d'absorption. Pour un ouvrage situé près d'un cours d'eau, un pourcentage d'absorption élevé se traduit généralement par la fragmentation des pierres sous l'effet des cycles de gel et de dégel. Les pierres ainsi fragmentées sont sujettes à être entraînées par le courant;
- la densité apparente. En plus de l'absorption, une faible valeur de la densité apparente de la pierre témoigne de la fragilité de la pierre soumises aux agents atmosphériques (gel/dégel, mouillage/séchage, etc.);
- la confirmation du calibre des pierres. Le calibre des pierres, notamment l'exigence des grosseurs minimale, maximale et celle correspondant à 50 % en masse des pierres, doit être respectée afin d'obtenir des pierres qui vont bien s'enchâsser les unes dans les autres;
- le nom du laboratoire enregistré chargé de réaliser les essais de contrôle;
- la localisation de la réserve ou de la zone à exploiter, afin de s'assurer que les pierres livrées sur le chantier proviennent de la réserve qui a fait l'objet des essais et de l'étude du géologue ou de l'ingénieur en géologie, tel qu'exigé à la norme 14501.

2.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport.*

Les notions de l'attestation de conformité pour les pierres de revêtements de protection ont été présentées à la section précédente.

2.5 MISE EN ŒUVRE

Le surveillant doit connaître au préalable les méthodes de réalisation préconisées par l'entrepreneur pour vérifier les mesures applicables qu'il entend respecter, particulièrement celles concernant l'environnement; c'est là un aspect auquel la majorité des entrepreneurs accorde peu d'attention. Ces mesures peuvent prendre différentes formes comme l'obtention de certificats d'autorisation, l'obligation de construire des

ouvrages temporaires (batardeaux, soutènements, bermes filtrantes, bassin de sédimentation ou trappe à sédiments), l'obligation de respecter les périodes d'interdiction de travaux dans les plans d'eau ou la disponibilité d'équipements spécifiques telle une trousse de récupération des produits pétroliers.

L'eau provenant des opérations d'assèchement des excavations ou des batardeaux doit être traitée conformément aux exigences de la Loi sur la qualité de l'environnement.

2.5.1 Batardeau

Un batardeau est un ouvrage temporaire destiné à isoler la zone des travaux des eaux environnantes afin de permettre l'exécution à sec des travaux d'excavation ainsi que ceux concernant la préparation et le remplissage des fondations. Cet ouvrage est principalement utilisé pour la construction ou la réparation d'unités de fondation situées dans ou près d'un plan d'eau. Il est rarement utilisé pour un ouvrage de petites dimensions où il est facile de détourner le cours d'eau en dehors de la zone des travaux.

Un batardeau est demandé dans le devis spécial lorsque le site devant recevoir une unité de fondation d'un pont est normalement submergé. Un batardeau est aussi requis pour les mêmes raisons lors de la réparation de surfaces de béton. Il peut arriver qu'un batardeau soit nécessaire même si celui-ci n'est pas prévu au bordereau des quantités; cette situation se présente lorsque le site qui n'est pas normalement submergé l'est effectivement à la date des travaux. Cette façon de faire est recommandée à tous les concepteurs et elle est nécessaire afin d'éliminer les risques de litige avec l'entrepreneur quant au paiement d'un batardeau qui, en réalité, n'aurait pas été réalisé. L'entrepreneur assume donc les risques financiers associés à cette pratique, soit en construisant tout de même un batardeau à ses frais, soit en attendant une décrue des eaux. L'entrepreneur est tenu de réaliser les travaux à sec en toutes circonstances, sauf si le bétonnage sous l'eau est expressément demandé dans les documents contractuels.

Les experts dans le domaine considèrent qu'un batardeau doit être traité comme un ouvrage permanent. En effet, les charges sont diverses et les risques de rupture sont nombreux. De plus, quand un accident survient, les risques de pertes de vies sont très élevés, particulièrement pour les batardeaux en palplanches métalliques.

Il existe deux grands types de batardeaux, ceux composés de digues en terre et ceux formés par des rideaux, généralement à partir de palplanches métalliques. Exceptionnellement, en eau profonde, des caissons sous pression peuvent être utilisés. Pour les besoins du présent manuel, seuls les batardeaux en terre et en palplanches métalliques sont traités. Si un batardeau de type berlinois combiné à un remblai en terre est utilisé, l'information de ce chapitre s'applique généralement à sa construction.

Pendant les travaux de construction du batardeau, le surveillant doit noter pour référence future les caractéristiques des sols utilisés et la composition d'un batardeau en terre. Dans le cas d'un batardeau en palplanches métalliques, il doit noter les

longueurs des palplanches et leur enfoncement, la durée et la méthode de fonçage, les obstacles rencontrés et le niveau de l'eau. Il ne doit pas hésiter à noter toute autre information qui pourrait s'avérer utile lors d'une éventuelle réclamation. Une bonne pratique consiste également à prendre plusieurs photos montrant les différentes étapes des travaux afin d'appuyer adéquatement les observations du journal de chantier.

Mentionnons également qu'il ne faudrait pas enfoncer jusqu'au fond une palplanche que l'on vient d'enfiler, puisqu'il y a un risque de bourrage des enclenchements qui rendrait l'enfilement des palplanches adjacentes plus difficile. Il faudrait plutôt enfoncer un groupe de palplanches reliées entre elles afin d'empêcher leur déformation.

Si des difficultés de fonçage de palplanches surviennent, des méthodes telles que, par exemple, le préforage ou la construction de tranchées d'argile pourraient être mises de l'avant par l'entrepreneur pour faciliter l'enfoncement. Le cas échéant, le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur a adapté sa méthode de travail afin que les opérations n'altèrent pas les sols qui supporteront la future unité de fondation, en particulier dans le cas d'une fondation superficielle.

Dans le même ordre d'idée, si l'entrepreneur juge qu'il est nécessaire de réaliser un essai de pompage pour confirmer sa méthode d'assèchement, l'essai doit être réalisé suffisamment loin de l'emprise de la semelle projetée afin que les opérations n'altèrent pas les sols qui supporteront la future unité de fondation, en particulier dans le cas d'une fondation superficielle.

Dans tous les cas, lorsque de tels travaux préparatoires sont entrepris à proximité d'une future unité de fondation, le surveillant doit documenter soigneusement la position (x, y, z) des excavations effectuées, la géométrie de ces excavations, les matériaux de remplissage utilisés par la suite, etc.

Dimensions du batardeau

Les exigences du CCDG stipulent que le batardeau doit être construit de manière à retenir les eaux hautes ou les sols instables.

Par contre, la hauteur effective des eaux pendant les travaux varie selon la période de construction; celle-ci se situe habituellement dans des moments où le niveau des eaux n'est pas maximal. Pour ces raisons, l'entrepreneur pourrait vouloir construire son batardeau à un niveau inférieur à celui des eaux hautes afin d'en diminuer l'ampleur et d'accélérer la construction. Puisque ces justifications sont également avantageuses pour le Ministère, il est de pratique courante d'accepter cette proposition en précisant à l'entrepreneur qu'il le fait à ses risques et qu'il devra défrayer tous les coûts engendrés par une hausse du niveau des eaux au-dessus de celle pour laquelle il a projeté son batardeau.

Les dimensions horizontales d'un batardeau en palplanches doivent excéder d'au moins 600 mm le pourtour de la base de l'ouvrage. Cette exigence du CCDG s'impose afin de permettre la mise en place des coffrages. Nonobstant cette exigence, les dimensions du batardeau doivent permettre la mise en place des pieux inclinés; en

effet, il faut s'assurer que les pieux peuvent passer sous les palplanches, notamment dans le cas où l'entrepreneur désire enfoncer davantage les palplanches pour contrer les infiltrations d'eau.

Avis de l'entrepreneur

À la suite de la construction du batardeau, l'entrepreneur, selon le CCDG, doit remettre au surveillant un avis écrit, signé par un ingénieur, indiquant que le batardeau est construit conformément au plan soumis. Cet avis doit faire référence au plan soumis au surveillant ou, le cas échéant, au plan révisé lors de la construction du batardeau. L'avis devrait être remis avant l'assèchement du batardeau. Il n'est pas nécessaire que l'ingénieur signataire de cet avis soit celui qui a préparé le plan du batardeau. Par contre, l'ingénieur qui signe l'avis doit avoir lui-même, et sans délégation, inspecté le batardeau construit; cette exigence du CCDG est nécessaire compte tenu de l'importance d'avoir un avis le plus éclairé possible.

Pour un batardeau en terre, compte tenu des nombreuses difficultés associées à la construction de ce type de batardeau et des coûts souvent sous-estimés par l'entrepreneur, ce dernier a tendance à n'effectuer que le strict nécessaire lors de la construction. Des infiltrations d'eau sont alors à craindre lors de la réalisation de l'élément à bétonner, ce qui entraînerait ainsi des éboulis, des travaux de consolidation du batardeau et beaucoup de temps perdu. Puisqu'il peut être difficile pour l'ingénieur chargé de délivrer l'avis de juger de la composition exacte du batardeau en terre une fois celui-ci réalisé, ou de l'enfoncement exact des palplanches si un batardeau de ce type est utilisé, cet ingénieur devrait être présent lors de la construction du batardeau. Cette précaution est nécessaire pour que le Ministère soit assuré que le batardeau est bel et bien construit selon les exigences du plan du batardeau.

Bien que l'entrepreneur doive remettre un avis écrit confirmant que le batardeau est construit selon le plan soumis, le surveillant se doit tout de même d'être vigilant en ce qui concerne le respect du plan du batardeau par l'entrepreneur.

Assèchement du batardeau

Cette activité représente souvent l'opération la plus délicate et la plus risquée de la construction d'un batardeau, surtout s'il s'agit d'un batardeau en palplanches métalliques. En effet, l'eau à l'intérieur du batardeau permet un équilibre des pressions sur ses parois. Lorsque l'eau est pompée à l'extérieur du batardeau, cet équilibre est rompu et les pressions deviennent maximales sur ses composants. La résistance du batardeau est donc sollicitée dès le début des opérations de pompage.

Pendant l'assèchement du batardeau, la pression sur ses composants augmente au fur et à mesure que le niveau d'eau baisse à l'intérieur de celui-ci. Pour cette raison, le surveillant doit veiller à ce qu'un représentant de l'entrepreneur en autorité sur le chantier soit présent et vigilant durant l'opération. Dans le cas d'un batardeau en

palplanches métalliques, des étaiements intérieurs doivent être installés au fur et à mesure de l'abaissement du niveau de l'eau afin de le rigidifier. La séquence de mise en place de ces étaiements devrait apparaître sur les plans d'atelier du batardeau.

Bien que cette tâche revienne d'abord à l'entrepreneur, le surveillant devrait être vigilant lors de l'assèchement du batardeau afin de déceler d'éventuelles déformations de ses composants ainsi que tout bruit suspect. Le surveillant ne doit pas hésiter à informer l'entrepreneur de toute anomalie qu'il constate et, au besoin, à suspendre les travaux lorsqu'il juge que la sécurité des travailleurs est menacée.

Même si les infiltrations d'eau à l'intérieur d'un batardeau peuvent sembler sous contrôle, il est fortement recommandé de conserver sur le chantier une pompe de rechange pouvant être rapidement opérationnelle afin d'éviter le remplissage complet du batardeau.

Une base d'étanchement est surtout utilisée lorsque l'assèchement d'un batardeau en palplanches métalliques mis en place dans un sol granulaire est problématique. Une base d'étanchement consiste à recouvrir le fond de l'excavation d'une couche de béton; l'épaisseur de celle-ci dépend du niveau de l'eau (1 m de béton par 2,4 m d'eau). Lorsque la condition des sols découlant des sondages peut rendre l'assèchement du batardeau difficile, le concepteur peut déjà avoir prévu l'utilisation d'une base d'étanchement dans les plans et devis. Il peut aussi arriver que l'entrepreneur décide de son propre chef d'en faire une même si les plans et devis n'en font pas mention; le surveillant se doit alors de consulter le concepteur afin d'obtenir son approbation. En effet, ce dernier doit alors décider s'il faut abaisser davantage le fond d'excavation ou relever le niveau de l'ouvrage. Il arrive parfois qu'une base d'étanchement soit nécessaire à l'intérieur d'un batardeau constitué de matériaux granulaires.

Une fois les pieux enfoncés et avant de construire une base d'étanchement, il est recommandé de faire un relevé du fond de l'excavation pour s'assurer que ce dernier est relativement parallèle à la base de l'ouvrage afin de ne pas utiliser un volume trop important de béton. Mentionnons que les dépressions peuvent être comblées au moyen d'un matériau granulaire alors que les monticules sont aplanis. Ce relevé est fait soit avec une perche, soit avec une pesée attachée au bout d'une corde, soit par arpentage selon un réseau de points suffisamment serré pour déceler toute anomalie de nivellement. Bien qu'une base d'étanchement soit rarement nécessaire dans le cas d'une fondation qui repose sur le roc, si la situation se présente, l'entrepreneur doit se conformer en tout point aux exigences de la partie 2.5.3.2 « Fond des excavations » du présent chapitre. En plus de la vérification du nivellement, l'inspection du fond à l'aide d'une caméra vidéo, tel que cela est stipulé dans le CCDG, est obligatoire pour s'assurer que le roc est sain et bien nettoyé. Cette caméra vidéo est fixée au casque d'un plongeur si l'entrepreneur ne réussit pas à réduire suffisamment la turbidité de l'eau; c'est le surveillant qui dirige les mouvements du plongeur à partir d'un moniteur. Le surveillant se doit d'être vigilant et ne pas hésiter à demander au plongeur de pousser sur tel affleurement rocheux ou de passer sa main à tel endroit pour s'assurer que le roc est sain et bien nettoyé en tout point sous la future semelle.

Le bétonnage sous l'eau doit être exécuté selon les exigences indiquées dans le chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel, sauf qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser un béton antilessivage (type XV) puisque l'eau est plus ou moins stagnante. Par contre, s'il s'avère qu'une tête d'eau importante provoque des infiltrations qui remanient ou pourraient remanier le fond de l'excavation, il est recommandé d'utiliser du béton antilessivage (type XV).

Il est important de respecter les autres exigences relatives au bétonnage sous l'eau, notamment celles qui concernent l'utilisation d'une pompe à béton, le bétonnage en maintenant la ligne de pompage dans le béton ainsi que la température de l'eau qui doit être supérieure à 5 °C et ce même lorsqu'un autre type de béton que le type XV est employé. Le bétonnage se fait sur toute la surface délimitée par le batardeau et il faut s'assurer que le dessus de la base est le plus horizontal possible.

L'entrepreneur doit attendre que le béton ait au moins 10 MPa avant de commencer les travaux d'assèchement. Après l'assèchement, le surveillant doit vérifier si le dessus de la base d'étanchement est horizontal; si ce n'est pas le cas, il faut rectifier la situation après avoir consulté le concepteur. Avant de procéder au bétonnage de la semelle de l'ouvrage, il faut préparer les surfaces de béton du dessus de la base d'étanchement selon les exigences du chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel.

Suivi du comportement d'un batardeau – généralités

Une fois le batardeau construit, le surveillant devrait suivre son comportement jusqu'à sa démolition complète. Bien que cette responsabilité revienne d'abord à l'entrepreneur et aux ouvriers travaillant à l'intérieur du batardeau, le surveillant devrait inspecter ce dernier pour y déceler d'éventuelles déformations de ses composants et des signes d'érosion à ses abords. Il devrait aussi surveiller, particulièrement lors de l'assèchement du batardeau et lors de variations importantes du niveau du cours d'eau, l'apparition soudaine de toute perturbation de l'écoulement de celui-ci, notamment des remous, des tourbillons ainsi qu'une dépression ou un rehaussement localisé du niveau de l'eau.

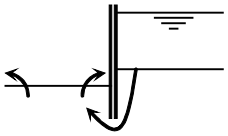
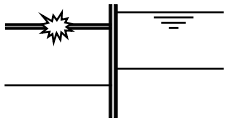
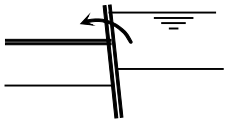
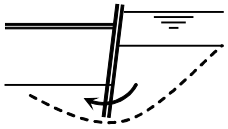
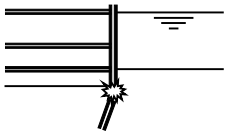
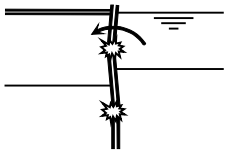
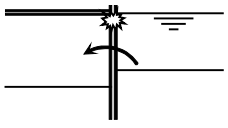
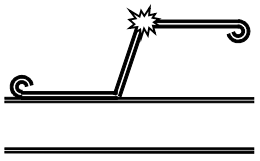
L'entrepreneur devrait effectuer par arpentage des relevés pour suivre le comportement du batardeau et le surveillant devrait en prendre connaissance afin de les comparer avec ses propres observations. Cette pratique devrait être suffisante pour inciter un entrepreneur à effectuer son travail de contrôle. Le relevé de l'entrepreneur devrait comprendre notamment l'inspection des pièces métalliques des batardeaux en palplanches, l'érosion relevée au pourtour d'un batardeau en terre à la suite d'une inspection attentive sous le niveau de l'eau au moyen d'une perche et le niveau des eaux. Ce relevé est normalement effectué selon une fréquence quotidienne; la fréquence peut cependant être plus élevée en cas de crue des eaux.

Le surveillant ne doit pas hésiter à informer l'entrepreneur de toute anomalie qu'il constate et, au besoin, à suspendre les travaux lorsqu'il juge que la sécurité des travailleurs est menacée.

Suivi du comportement d'un batardeau en palplanches métalliques

Compte tenu des risques plus élevés de rupture d'un batardeau en palplanches métalliques et des signes précurseurs moins évidents avant la rupture, le tableau 2.5-1 montre les modes de rupture les plus courants ainsi que les signes précurseurs qui y sont associés.

Tableau 2.5-1 Modes de rupture d'un batardeau en palplanches métalliques

Description de la rupture	**Figures**	**Signes précurseurs visibles**	**Vérification**
Soulèvement du fond du batardeau		Non en général, mais parfois infiltrations de sédiments, eaux troubles	Longueur de la fiche, par abaques ou calculs
Flambement de l'étaiement intérieur (moise)		Non en général, mais parfois craquements, bris de boulons ou de soudures	Résistance de la moise
Renversement du mur de palplanches		Déplacement du mur	Équilibre du mur
Glissement (stabilité de l'ensemble)		Non en général, mais parfois mouvement des palplanches	Longueur de la fiche
Flexion longitudinale de la palplanche		Courbure très forte à la base de la palplanche	Résistance de la palplanche
Flexion longitudinale de la palplanche		Courbure très forte des palplanches	Résistance de la palplanche
Cisaillement de la palplanche		Non en général, mais parfois mouvement des palplanches	Résistance de la palplanche
Flexion transversale de la palplanche		Courbure transversale très forte des palplanches	Résistance de la palplanche

Enlèvement du batardeau

L'enlèvement du batardeau doit se faire de l'aval vers l'amont afin de diminuer le plus possible le rejet de matières fines dans le cours d'eau ainsi que les efforts sur le batardeau en cours de démolition. Il doit être fait de façon à éviter d'endommager les ouvrages en place avec les équipements ou les composants du batardeau.

Mentionnons que pour tout enlèvement de batardeau par temps froid, l'entrepreneur doit d'abord fragmenter les matériaux gelés de la partie supérieure du batardeau pour éviter tout risque d'accident lors des opérations d'enlèvement.

Lorsque cela est permis dans le devis spécial, l'entrepreneur peut couper les palplanches métalliques au niveau du dessus de la semelle. Il doit enlever complètement les palplanches lorsque le coupage de ces dernières n'est pas permis dans le devis spécial.

Dans certaines circonstances, en présence de sols très sensibles, le surveillant doit être attentif aux vibrations pouvant être générées par le retrait des palplanches. Ces vibrations peuvent endommager la structure nouvellement construite et créer des tassements différentiels dans les sols sous-jacents; un contrôle des vibrations peut alors s'avérer nécessaire. La section 3.5.1 de ce manuel donne plus de détails sur ce contrôle.

Rappelons enfin que l'article 15.2.6.1 du CCDG précise que le prix du batardeau inclut également son enlèvement.

2.5.2 Soutènement temporaire

À la suite de la construction du soutènement temporaire, l'entrepreneur, selon le CCDG, doit remettre au surveillant un avis écrit, signé par un ingénieur, indiquant que le soutènement est construit conformément au plan soumis. Il doit également attester le sol sur lequel il repose. Cet avis doit faire référence au plan soumis au surveillant ou, le cas échéant, au plan révisé lors de la construction du soutènement. L'avis doit être remis au surveillant dès que le soutènement est finalisé. Il n'est pas nécessaire que l'ingénieur signataire de cet avis soit celui qui a préparé le plan du soutènement. Par contre, l'ingénieur qui signe l'avis doit avoir lui-même, et sans délégation, inspecté le batardeau construit; cette exigence du CCDG est nécessaire compte tenu de l'importance d'avoir un avis le plus éclairé possible.

Pendant les travaux de construction du soutènement, le surveillant doit noter pour référence future la nature et le niveau des sols, les longueurs des palplanches ou des pieux et leur enfoncement, la durée et la méthode de fonçage, les obstacles rencontrés, le niveau des sols et toute autre information qui pourrait s'avérer utile lors d'une éventuelle réclamation. Une bonne pratique consiste également à prendre plusieurs photos montrant les différentes étapes des travaux afin d'appuyer adéquatement les observations du journal de chantier.

Bien que l'entrepreneur doive remettre un avis écrit confirmant que le soutènement est construit selon les plans soumis, le surveillant se doit tout de même d'être vigilant pour s'assurer que l'entrepreneur respecte les exigences des plans d'atelier. Puisqu'il peut être difficile pour l'ingénieur chargé de délivrer l'avis de conformité de juger de l'enfoncement des palplanches ou des pieux d'un mur berlinois une fois celui-ci réalisé, cet ingénieur devrait être présent lors de la construction du soutènement.

Lorsque le soutènement est construit à l'emplacement et aux dimensions exactes de l'élément à bétonner, l'entrepreneur peut l'utiliser comme coffrage après avoir obtenu l'autorisation du surveillant. Ce dernier autorise l'entrepreneur après avoir reçu l'approbation du concepteur.

L'enlèvement du soutènement doit être fait de façon à éviter d'endommager les ouvrages en place avec les équipements ou les composants du soutènement. Selon le CCDG, tous les matériaux du soutènement sont enlevés ou coupés au ras du sol d'appui, c'est-à-dire vis-à-vis du dessous d'une semelle ou vis-à-vis de la ligne d'infrastructure des approches.

2.5.3 Excavations

Le surveillant doit être conscient que tout sondage n'est présumé exact qu'au point où il a été exécuté. Il arrive souvent qu'une unité de fondation ne soit pas située en ce point précis lors de la conception du pont, ce qui peut entraîner des différences entre ce que laissait entrevoir le sondage et les travaux d'excavation, particulièrement lorsqu'il s'agit d'une fondation sur le roc. Le surveillant se doit d'être présent lors des travaux d'excavation et d'être attentif tout au long de leur exécution.

Le surveillant doit vérifier en cours d'excavation la concordance des sols de fondation effectivement en place avec ceux décrits dans les rapports de forages. Toute anomalie ou tout écart important doit être signalé au concepteur.

Pendant les travaux d'excavation, le surveillant doit noter pour référence future la nature exacte des sols excavés et celle du fond des excavations ainsi que toute autre information qui pourrait s'avérer utile lors d'une éventuelle réclamation. Une bonne pratique consiste également à prendre plusieurs photos montrant les différentes étapes des travaux afin d'appuyer adéquatement les observations du journal de chantier; ces photos devraient inclure des repères, de façon à établir l'ordre de grandeur des éléments y apparaissant.

<u>Déblais de première classe et de deuxième classe</u>

Au même titre que les travaux d'excavation requis pour la construction d'une route, les excavations pour ouvrages d'art sont divisées en deux classes, soit les déblais de première classe et les déblais de deuxième classe. Les déblais de première classe comprennent le roc solide et les revêtements en béton; ils incluent aussi les blocs de roc de plus de 1 m^3 ainsi que les ouvrages massifs en béton, en pierre ou en maçonnerie cimentées.

Il n'est pas nécessaire d'utiliser des explosifs pour que des matériaux d'excavation soient considérés comme des déblais de première classe. En effet, le CCDG précise que les matériaux d'excavation de cette classe peuvent être fragmentés au moyen d'explosifs ou d'un matériel à percussion. Il peut arriver qu'il soit difficile de juger si un roc très fracturé est un déblai de première classe ou pas; le surveillant peut consulter les experts en la matière de sa direction générale territoriale. Les sols gelés ne sont cependant pas considérés comme des déblais de première classe.

Le surveillant doit prendre connaissance des exigences du CCDG concernant le sautage de masse au moyen d'explosifs. Le surveillant doit se préoccuper, entre autres, du plan de tir, de l'horaire de tir et du journal de tir. Le plan de tir est un document préparé par un spécialiste en explosifs; il doit être signé et scellé par un ingénieur et remis au surveillant pour information. Ce dernier doit s'assurer que l'entrepreneur respecte les exigences du plan de tir. L'horaire de tir doit être remis au surveillant au moins 24 heures avant tout dynamitage. Cette exigence du CCDG s'impose afin de permettre au surveillant de planifier ses travaux et d'être informé des entraves possibles à la circulation. Le journal de tir, quant à lui, doit être remis au surveillant immédiatement après chaque dynamitage; ce journal est conservé pour référence future.

Bien que le contrôle des vibrations et des émanations de monoxyde de carbone lors du dynamitage soit du ressort de l'entrepreneur, le surveillant se doit de vérifier si l'entrepreneur prend toutes les précautions nécessaires comme cela est stipulé au chapitre 11 « Terrassements » du CCDG. L'entrepreneur devrait remettre au surveillant une copie des résultats de ses relevés pour référence ultérieure.

Mentionnons que l'utilisation d'explosifs est réglementée par *le Code de sécurité pour les travaux de construction.*

L'entrepreneur doit s'entendre avec les propriétaires des services publics existants, notamment un aqueduc, un égout, un gazoduc, une ligne électrique ou téléphonique, ou un chemin de fer, sur le site des travaux relativement aux mesures de protection à prendre pour préserver ces services publics durant les travaux de dynamitage. Cette exigence de l'article 6.12 « Obstacles dans l'emprise » du CCDG s'impose afin de protéger ces équipements. Le rôle du surveillant est de s'assurer que l'entrepreneur est au courant de ses obligations; le meilleur moyen d'informer l'entrepreneur de façon officielle est d'ajouter ce sujet à l'ordre du jour d'une réunion de chantier.

<u>Destination des matériaux excavés</u>

Il est exigé au CCDG que tous les matériaux excavés doivent être mis au rebut à moins d'indication contraire dans les plans et devis, notamment dans le cas de ponceaux. Cette exigence du CCDG s'impose compte tenu du faible volume de matériaux en cause et des risques associés à l'utilisation de matériaux souvent marginaux pour le remplissage des excavations ou pour le remblai au-dessus ou à proximité d'un ouvrage.

Si le projet de construction d'un ouvrage s'inscrit dans un projet plus vaste de construction d'une route, il revient à l'entrepreneur de s'entendre avec le surveillant de ce projet de route d'accepter ou non l'utilisation des matériaux excavés dans son projet.

Avis écrit

Afin d'éviter le remaniement du fond des excavations qui pourrait être difficile à déceler a posteriori par le surveillant, l'entrepreneur doit donner un avis écrit d'au moins 24 heures pour préciser la date et l'heure du début de l'excavation des derniers 500 mm, lorsque l'ouvrage n'est pas construit sur pieux ou sur le roc. L'excavation finale est alors réalisée avec précaution, juste avant la mise en place des coffrages de la semelle.

2.5.3.1 Dimensions des excavations

Il est précisé clairement au CCDG que les dimensions théoriques des excavations sont fonction de celles de l'ouvrage décrit dans les plans et devis. Lorsque le Ministère paie les travaux d'excavation selon les quantités théoriques, l'entrepreneur doit en assumer les coûts supplémentaires, tant pour l'excavation que pour les éventuels travaux de correction si les dimensions prévues sont dépassées. Par exemple, si les plans spécifient que la semelle doit être confinée au roc, l'entrepreneur n'est pas payé pour le béton supplémentaire requis s'il a dépassé les dimensions indiquées dans les plans.

Dans un sol autre que le roc solide, la stabilité des pentes d'excavation doit respecter les exigences de la CSST et celles que l'on peut parfois trouver dans le devis spécial. En effet, il peut arriver que le devis spécial ou l'étude géotechnique fasse mention des pentes d'excavation lorsque le sol est particulièrement instable.

Dans le roc solide, mentionnons que les parois de l'excavation peuvent servir de coffrage, puisqu'elles sont pratiquement verticales. Dans le cas où le roc n'est pas découpé aux dimensions stipulées, des coffrages doivent être mis en place et ils peuvent alors être facilement étayés contre le roc. Dans un sol autre que le roc solide ou lors de l'utilisation de palplanches métalliques, une largeur de 600 mm entre le roc ou les palplanches et les coffrages est exigée pour faciliter la mise en place des coffrages.

Murs de soutènement

Le surveillant doit prêter une attention particulière aux travaux de préparation des fondations, et ce, sur toute la surface de sol sur laquelle sera assis le mur, afin d'éviter le tassement éventuel de l'ouvrage.

Dans le cas d'un mur en terre stabilisée mécaniquement (murs en TSM), la préparation de l'assise doit également s'étendre sous le remblai renforcé d'inclusions qui fait partie intégrante de la structure du mur. De plus, le surveillant doit s'assurer que l'excavation à la base du mur a une largeur qui excède d'au moins 300 mm la longueur des inclusions. De plus, de manière à ce que les inclusions soient horizontales, le régalage

du fond de l'excavation doit se faire sur cette largeur à la base du mur; le régalage de chacune des couches successives de matériaux granulaires dans la construction du massif doit aussi être effectué, et ce, pour les mêmes raisons.

La hauteur de fiche des murs doit respecter la valeur donnée aux plans et devis qui tiennent compte de l'étude géotechnique et de l'affouillement hydraulique lorsque l'ouvrage est installé à proximité d'un cours d'eau.

La hauteur de fiche est également fonction de sa sensibilité aux tassements différentiels. La sensibilité au tassement différentiel et la hauteur minimale de la fiche sont indiquées au chapitre 5 « Murs » du *Tome III – Ouvrages d'art* des normes du Ministère.

On doit se référer au chapitre 12 du présent manuel pour obtenir plus de détails quant à la hauteur de fiche. Aucune fiche n'est spécifiée pour un mur reposant sur le roc, mais un encastrement de 150 mm doit être prévu pour les fondations du mur.

2.5.3.2 Fond des excavations

Une fois le niveau du fond de l'excavation atteint, le surveillant doit vérifier que celui-ci est conforme aux exigences du CCDG.

Pour une fondation superficielle qui repose sur le sol, le surveillant doit d'abord s'assurer que les sols en place correspondent bien à ceux décrits au rapport des sondages. On veut également éviter de bâtir une assise sur des sols de capacité différente, soit, par exemple une partie sur le roc et une autre sur un sol granulaire. En cas de non-conformité aux rapports de sondage, le surveillant doit consulter le concepteur qui, à son tour, contactera l'ingénieur auteur de l'étude géotechnique. En effet, le géotechnicien a établi la valeur de la capacité portante des sols à partir des sondages effectués; il importe que le concepteur soit mis au courant de tout écart important quant à la nature des sols afin que les dimensions des semelles soient ajustées selon la capacité portante réelle. Le surveillant doit ensuite veiller à ce que le fond des excavations soit parallèle à la base de l'ouvrage. Cette dernière est généralement horizontale ou disposée en gradins eux-mêmes horizontaux. Pour ce type de fondation, il faut s'assurer que la capacité portante d'une même unité de fondation est uniforme afin de respecter les exigences des plans et devis. Il est donc nécessaire que les sols instables ou remaniés soient stabilisés ou remplacés par un coussin de support.

L'exigence du CCDG relative à l'utilisation d'un godet lisse est nécessaire pour effectuer l'excavation finale (derniers 500 mm de sol au-dessus de l'élévation prévue du fond de l'excavation) de façon à ne pas remanier le fond de l'excavation.

S'il le juge souhaitable, le surveillant peut vérifier auprès du CARSM si le géotechnicien est disponible pour venir lui-même au chantier attester la conformité du fond de l'excavation.

S'il s'agit d'une fondation qui repose sur le roc, le roc du fond des excavations doit être sain. Un roc sain est un roc sans fissures, non fragmenté et dépourvu d'irrégularités. Si le roc n'est pas sain, le surveillant doit consulter le concepteur pour que ce dernier évalue, de concert avec l'ingénieur auteur de l'étude géotechnique, la capacité portante du roc en place et qu'il modifie au besoin les dimensions des semelles. Mentionnons qu'un roc doit être de bien piètre qualité pour avoir une capacité inférieure à un coussin de support compacté adéquatement.

La profondeur d'encastrement de la semelle dans le roc doit être au minimum de 300 mm. Si un confinement supérieur au roc est spécifié, le surveillant doit s'assurer que la profondeur d'excavation dans le roc est suffisante pour permettre sa réalisation. La surface du roc doit être nette et rugueuse avant le bétonnage. Le plancher rocheux doit être horizontal (parallèle à la semelle) ou découpé en gradins horizontaux s'il présente une pente supérieure à 15°.

La surface rocheuse doit être débarrassée de tous débris de roc, de cailloux, de gravier ou de terre. Mentionnons qu'il est plus facile de nettoyer une surface rocheuse lorsqu'il n'y a plus d'eau sur le fond des excavations. L'utilisation d'un jet d'air ou d'eau peu avant le bétonnage complète habituellement le travail de nettoyage, assurant ainsi une assise adéquate libre de toutes particules fines. Le nettoyage des surfaces rocheuses est requis pour permettre la friction nécessaire entre le roc et la base de l'ouvrage; il permet également de ne pas altérer les caractéristiques du béton au contact du roc.

Ancrage

Des ancrages sont parfois prévus dans les plans et devis afin de retenir la semelle. Ces ancrages doivent être réalisés conformément aux plans et devis, surtout en ce qui concerne leur localisation et la profondeur des trous. D'autres exigences, comme le nettoyage des trous et le diamètre des tiges métalliques des ancrages, sont importantes afin que la semelle soit ancrée adéquatement.

Il est exigé au CCDG que l'entrepreneur donne au surveillant un avis écrit d'au moins 24 heures avant d'entreprendre la mise en place des coffrages ou avant la poursuite des travaux lorsqu'il n'y a pas de coffrages (cas des ouvrages préfabriqués). Cet avis est demandé dans le but de permettre au surveillant de vérifier adéquatement le fond des excavations comme décrit précédemment. Une fois cette vérification complétée et les corrections apportées à la satisfaction du surveillant, ce dernier remet à l'entrepreneur un avis écrit l'autorisant à procéder à la mise en place des coffrages ou des éléments préfabriqués. Il faut garder à l'esprit que cette autorisation permet au surveillant d'avoir le temps requis pour faire une vérification valable du fond des excavations.

Après la remise de l'autorisation, le fond des excavations ne doit pas subir d'altérations, qu'elles soient attribuables à la circulation, aux intempéries ou à toute autre cause. Si des altérations devaient survenir, l'entrepreneur devra, à ses frais, remplacer le sol

remanié ou le densifier de manière à ce qu'il recouvre sa capacité portante initiale. Contractuellement, le surveillant doit se référer à l'article 6.10 « Responsabilité relative aux ouvrages » pour faire réaliser ces travaux.

2.5.3.3 Assèchement des excavations

Les excavations doivent être asséchées et maintenues à sec le temps nécessaire à l'exécution des ouvrages. L'eau devrait être captée dans des rigoles creusées en dehors de la surface requise pour la fondation et rejetée à l'extérieur loin de celle-ci.

L'exigence relative à un fond d'excavation sec s'impose afin d'éviter que le béton soit mis en place sur une surface détrempée, ce qui aurait pour effet d'augmenter le rapport eau/liant du béton en contact avec le fond d'excavation et, par conséquent, sa durabilité. Mentionnons qu'un fond d'excavation sec signifie simplement un fond non recouvert d'eau; un fond d'excavation dont les matériaux sont humides en surface peut être considéré comme sec.

2.5.4 Coussin

Après une inspection du fond des excavations, le surveillant vérifie s'il est pertinent ou non d'exiger un coussin. En cas de doute de la part du surveillant, la décision peut être prise de concert avec le concepteur ou le géotechnicien auteur de l'étude.

Coussin de support

Compte tenu de l'importance du coussin de support pour le transfert des charges au sol environnant, il est exigé au CCDG que l'entrepreneur donne au surveillant un avis écrit d'au moins 24 heures avant d'entreprendre la mise en place du coussin de support. Cet avis est demandé dans le but de permettre au surveillant de vérifier adéquatement la mise en place et la compaction du coussin puisqu'il est impossible de faire ces vérifications a posteriori.

Le coussin de support est utilisé dans le cas d'une fondation qui repose directement sur un sol ou, dans de rares cas, sur un roc. Il est réalisé à sec, sinon il faut plutôt utiliser une base d'étanchement. Il permet une répartition uniforme des charges transmises par l'ouvrage. Sa mise en œuvre doit faire en sorte qu'il fournisse une capacité portante au moins aussi grande que celle du sol sur lequel il repose.

Il peut être réalisé au moyen de matériaux granulaires ou de béton. Un coussin en matériaux granulaires est généralement spécifié dans les plans et devis pour remplacer un sol de faible capacité portante. Il peut aussi être exigé pour remplacer un sol de fondation remanié par inadvertance lors des travaux d'excavation. Les matériaux granulaires doivent être compactés.

Un coussin en béton doit être utilisé lorsque le fond d'excavation est un roc afin de combler les dépressions de la surface rocheuse. Par contre, dans le cas des tuyaux utilisés comme ponceaux, un matériau granulaire doit être utilisé pour égaliser un fond

de roc afin de minimiser les charges ponctuelles excessives qui pourraient porter préjudice à l'ouvrage. Le surveillant doit se référer au chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel relativement au béton et aux travaux de bétonnage; le béton spécifié est de type V.

Pour les tuyaux seulement, les dimensions du fond de l'excavation dans le roc correspondent à celles du coussin de support.

Mentionnons que les caractéristiques du coussin de support d'un mur de soutènement homologué peuvent être différentes. Le surveillant doit vérifier l'avis technique pertinent si c'est le cas et, le cas échéant, s'assurer que l'entrepreneur s'y conforme.

Coussin de propreté

Le coussin de propreté, comme son nom l'indique, permet de faciliter la mise en place des pieux sur un sol détrempé de manière à obtenir une surface de travail convenable. Il est constitué d'une épaisseur minimale de 150 mm de matériau granulaire. Comme il n'a qu'une fonction temporaire, il ne requiert pas de compaction. Le bétonnage d'une semelle sur un tel coussin s'effectue sans problème, puisque le tassement potentiel se produit dès la mise en place du béton.

2.5.5 Remplissage des excavations et remblai

Le remplissage des excavations consiste à combler les vides laissés par les travaux d'excavation, une fois les ouvrages construits, entre la ligne du terrain naturel et le niveau du fond des excavations. Le remblai se situe quant à lui au-dessus de cette ligne et se prolonge jusqu'au niveau indiqué au CCDG, qui varie selon le type d'ouvrage à construire.

Le remplissage et la mise en place du remblai se font par couches de 300 mm de matériau afin de faciliter la compaction; ce matériau doit être exempt de glace ou de masse gelée, afin d'éviter la formation de zones molles lors du dégel, de rebuts, de matières organiques et végétales, de pièces de bois et autres débris ou de matériaux provenant des excavations. De plus, pour tous les ouvrages, il est exigé au CCDG que le compactage à moins de 1 500 mm de l'ouvrage se fasse au moyen de compacteurs dynamiques légers (dameuses, plaques vibrantes, rouleaux à tambours vibrants) produisant une force ne dépassant pas 50 kN (5 000 kg). Dans le cas des ponceaux, cet équipement doit être utilisé jusqu'à ce que l'épaisseur du matériau granulaire au-dessus du ponceau atteigne au moins 1000 mm; de plus, une épaisseur d'au moins 300 mm de matériau granulaire doit être présente entre le matériel de compactage et le dessus du ponceau. Ces exigences du CCDG s'imposent afin d'éviter d'endommager, de déformer ou de déplacer les ouvrages.

De plus, pour éviter des efforts inopportuns dans un ouvrage monolithique (portique, ponceau, etc.), le remplissage et la mise en place du remblai doivent se faire simultanément sur les deux faces opposées de ce dernier.

Les exigences du CCDG relatives au remplissage des excavations et la mise en place du remblai derrière une culée ou un mur de soutènement doivent être respectées afin de réduire la pression hydrostatique sur les ouvrages, d'avoir des matériaux non gélifs à l'approche d'un pont tout en disposant des transitions nécessaires entre ce remblai et la structure de la route. La figure 2.5-1 (dessin normalisé DN-II-1-23) montre le remplissage des excavations et la mise en place du remblai derrière une culée avec des granulats MG112, MG20 ou CG 14; cette figure permet une meilleure compréhension des exigences du CCDG. Dans le cas de certains murs de soutènement homologués, les exigences relatives au remplissage des excavations et la mise en place du remblai peuvent être différentes; le surveillant doit vérifier l'avis technique pertinent si c'est le cas et, le cas échéant, s'assurer que l'entrepreneur s'y conforme.

Les exigences du CCDG relativement au remplissage et la mise en place du remblai autour d'une pile en rivière s'imposent au cas où les plans et devis ne préciseraient pas la protection contre l'érosion et l'affouillement. Bien que ces exigences minimales assurent une certaine protection, il ne faut pas hésiter à consulter le concepteur si cette protection peut sembler insuffisante compte tenu des conditions du site.

Dans le cas de certains ponceaux homologués, les exigences relatives au remplissage des excavations et la mise en place du remblai peuvent être différentes; le surveillant doit vérifier l'avis technique pertinent si c'est le cas et, le cas échéant, s'assurer que l'entrepreneur s'y conforme.

Les exigences du CCDG concernant l'avis que l'entrepreneur doit donner au surveillant s'imposent afin que l'état du fond d'excavation et celui des éléments de drainage soient vérifiés, s'il y a lieu. Cela permet aussi de s'assurer que le laboratoire chargé du contrôle de la qualité des matériaux posés et de la compaction soit sur le site en temps voulu. Cet avis doit être donné au moins 24 heures avant le début du remplissage et de la mise en place du remblai afin de permettre aux intervenants de planifier leurs travaux.

Le surveillant doit également revoir les détails relatifs aux revêtements de protection mis en place sur les talus qui peuvent avoir un impact sur le remplissage et la mise en place du remblai.

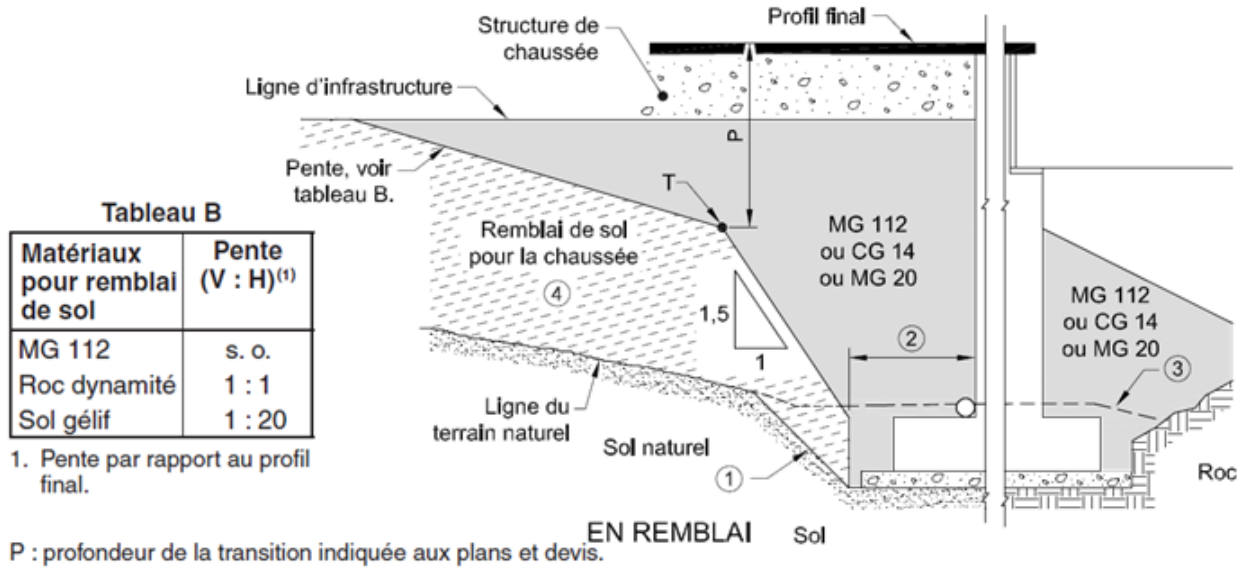


Tableau B

Matériaux pour remblai de sol	Pente (V : H)(1)
MG 112	s. o.
Roc dynamité	1 : 1
Sol gélif	1 : 20

1. Pente par rapport au profil final.

P : profondeur de la transition indiquée aux plans et devis.

T : point de transition à la profondeur « P ».

(1) La pente de l'excavation est fonction de la méthode de travail et des exigences de la CNESST en matière de stabilité.

(2) Le matériau granulaire de type MG 112 non concassé provenant d'une sablière ou de type MG 20 ou CG 14 provenant d'une carrière est placé à partir d'une largeur déterminée par le remplissage des excavations ou par la largeur de la semelle lorsqu'il n'y a pas d'excavation. Le matériau granulaire doit être compacté au minimum à 90 % de la masse volumique sèche maximale par couches de 300 mm.

(3) Les volumes de matériaux situés au-dessus de la ligne de terrain naturel existant avant l'excavation pour la construction de l'ouvrage sont considérés comme des matériaux de remblai, tandis que ceux qui sont situés au-dessous de cette ligne de terrain naturel sont considérés comme du remplissage d'excavation.

(4) Remplissage des excavations avec un sol compactable, du roc dynamité ou des matériaux granulaires.

Note :

– les cotes sont en millimètres.

MATÉRIAUX — NORMES APPLICABLES

Granulats CG 14, MG 112, MG 20 (après la mise en œuvre)	BNQ 2560–114

Figure 2.5-1 Remplissage des excavations et mise en place du remblai à proximité d'une culée (extrait du *Tome II – Chapitre 1, DN-023*, de la norme du Ministère)

Renseignements complémentaires – ponceaux

Le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur respecte en tout temps le mode de mise en place des matériaux granulaires; il doit aussi veiller à ce que la compaction et les essais de contrôle soient effectués conformément aux exigences.

Renseignements complémentaires – tuyaux

Le remplissage des excavations et la mise en place du remblai d'un tuyau constituent une étape importante de sa mise en place; la qualité du remblayage détermine même dans plusieurs cas la capacité structurale de l'ouvrage. Le remblayage se divise en deux parties : le remblayage latéral (structural pour les ponceaux métalliques et en polyéthylène [PE]), dont la hauteur varie selon le type d'ouvrage (50 % de la hauteur des tuyaux en béton et 75 % pour les ponceaux métalliques ou en polyéthylène) et le remblayage complémentaire (matériaux provenant de l'excavation ou un sol

compactable selon les dessins normalisés du *Tome III* des normes). Pour les ponceaux circulaires et arqués, il faut ajouter le recouvrement de protection (matériau granulaire CG 14 selon les dessins normalisés du *Tome III* des normes) qui se situe entre le remblayage latéral et le remblayage complémentaire. Ce recouvrement, dont l'épaisseur varie en fonction du diamètre du ponceau (voir les plans et devis), se prolonge au-dessus de ce dernier afin d'éviter de l'endommager lors du remblayage complémentaire.

Le remplissage des excavations et la mise en place du remblai sont normalement réalisés à sec à moins d'une indication contraire dans les plans et devis. Si cela se fait sous l'eau, le surveillant se doit de consulter le concepteur sur les méthodes à employer pour exécuter les travaux de façon adéquate.

Les matériaux granulaires du remblai latéral doivent être épandus par couches maximales de 150 mm et compactés à 90 % de la masse volumique sèche maximale obtenue avec l'essai Proctor modifié. Mentionnons que, dans le cas de ponceaux en polyéthylène ou métalliques, le remblai latéral oppose une résistance à la déformation de la paroi vers l'extérieur et pour fournir cette résistance, il doit être suffisamment compacté.

Il faut, au préalable procéder à la mise en place du remblai sous le berceau des tuyaux (les hanches) qui est délimité par l'angle formé par les aiguilles d'une montre positionnées entre 4 heures et 8 heures; ce remblai doit être soigneusement mis en place et compacté à cet endroit, puisqu'il constitue une zone très importante pour assurer un support adéquat au tuyau, surtout pour les tuyaux métalliques ou en polyéthylène. Ces opérations sont souvent faites de façon manuelle (pelle manuelle, pilon à l'exclusion de tout équipement métallique qui pourrait endommager le revêtement anticorrosion) de façon à ce que les matériaux soient fermement en contact avec la totalité de la surface inférieure du tuyau, y compris entre les ondulations et autres endroits difficiles d'accès.

Les matériaux granulaires du recouvrement de protection d'un ponceau circulaires et arqués doivent être épandus par couches maximales de 300 mm et compactés à 90 % de la masse volumique sèche maximale obtenue avec l'essai Proctor modifié.

Les matériaux utilisés pour le remblai latéral et le recouvrement de protection sont des matériaux granulaires respectant une granulométrie précise (CG 14 sauf pour les ponceaux en béton où un remblai de type MG 20 peut être utilisé à cause de la grande rigidité de ses parois). Le remplissage doit être fait en assurant le drainage de la surface afin d'éviter la formation de zones de plus faible capacité portante dans le remblai.

La déformation des tuyaux lors du remplissage des excavations et la mise en place du remblai constituent la principale source de complications au chantier, principalement dans le cas des ponceaux en polyéthylène ou métalliques. Tout changement dans les dimensions ou l'aplomb de l'ouvrage constitue un avertissement que les appareils lourds doivent s'éloigner de la structure. L'épandage et le compactage doivent se faire

parallèlement, et non perpendiculairement, à l'ouvrage, afin d'éviter de toucher au ponceau avec le matériel d'épandage et pour assurer une capacité uniforme au remblai. De plus, cette façon de travailler présente aussi l'avantage de demander moins d'espace pour manœuvrer les équipements.

Les matériaux utilisés pour le remblayage complémentaire doivent être épandus par couches maximales de 300 mm et compactés à 90 % de la masse volumique sèche maximale obtenue avec l'essai Proctor modifié.

La circulation de chantier et celle des usagers sont permises au-dessus de l'ouvrage dès que la hauteur du remblai au-dessus de ce dernier atteint la valeur spécifiée aux dessins normalisés.

Renseignements complémentaires – ponceau métallique ou en polyéthylène

Une surveillance constante de la forme de la structure doit être assurée pendant le remplissage des excavations et la mise en place du remblai pour déceler rapidement toute déformation ou tout mouvement anormaux. Le surveillant doit donc s'assurer que l'entrepreneur effectue les mesures de contrôle des déformations lors de ces opérations, ainsi qu'à la fin de la mise en place du remblai. Le surveillant doit obtenir de l'entrepreneur la méthode qu'il a l'intention d'utiliser pour effectuer les mesures. S'il juge la méthode appropriée, le surveillant donne son accord; sinon il doit obtenir les ajustements nécessaires; la méthode doit être adaptée à la dimension de l'ouvrage.

Plusieurs techniques peuvent être employées pour vérifier la forme de la section de l'ouvrage. La technique la plus simple dans le cas des ouvrages de grand diamètre consiste à utiliser celle du fil à plomb (voir la figure 2.5-2). Les fils sont installés par l'entrepreneur au droit de chaque joint d'assemblage. En observant bien le déplacement des fils et en apportant rapidement les correctifs nécessaires, on évitera les déformations ou mouvements anormaux. Il faut arrêter les travaux lorsque l'ouvrage se déforme de plus de 5 % par rapport à ses dimensions nominales pour une portée inférieure à 3 m, ou de 2 % si la portée excède 3 m. Bien souvent, il s'agit de vérifier si le remplissage des excavations et la mise en place du remblai se font vraiment de façon simultanée sur les deux côtés de l'ouvrage ou encore, de s'assurer qu'aucun équipement lourd ne s'en approche trop. Si les déformations ne reviennent pas sous ces valeurs, l'ouvrage doit être rejeté. Cette exigence du CCDG s'impose afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage à long terme. De plus, le surveillant doit savoir qu'il n'est pas permis d'utiliser des équipements pour corriger les déformations, car ceux-ci ont plutôt tendance à endommager l'ouvrage aux points d'appui.

Mentionnons qu'il est possible, pour les ouvrages de petit diamètre, de s'assurer du respect des déformations limites une fois celui-ci remblayé en employant un gabarit ayant neuf points de contact ou un profilomètre au laser ayant une précision d'au moins 0,25 %. Il est possible de se référer aux figures 64 et 65 du devis normalisé BNQ 1809-300 pour connaître les caractéristiques de ces équipements.

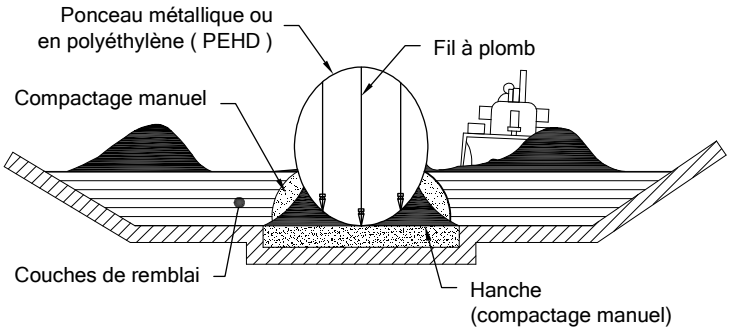


Figure 2.5-2 Remblayage d'un ponceau métallique – suivi de la déformation

Renseignements complémentaires – ponceau voûté en tôle ondulée galvanisée

Il est très important de mentionner que, dans le cas des ouvrages voûtés en tôle ondulée galvanisée, les étapes de mise en place du remblai ainsi que les équipements mécaniques à utiliser et leur positionnement doivent être conformes à la procédure du fournisseur, tel que mentionné dans leur avis technique.

Mentionnons aussi que pour ces ouvrages, la flexion ascendante ou descendante du sommet de la voûte ne doit pas dépasser 2 % de la flèche de l'ouvrage (1 % pour un ouvrage rectangulaire). Les alignements longitudinal et transversal doivent être maintenus en tout temps. Lorsque des étais sont utilisés lors des manutentions, ils doivent être enlevés puisqu'ils constituent une entrave à l'affaissement du sommet de la voûte lors du remblayage. S'il constate que les déformations (affaissement ou remontée de la voûte) dépassent les valeurs prescrites, le surveillant doit interrompre les travaux et informer le concepteur qui décidera des mesures à prendre.

2.5.6 Revêtement de protection

Une préparation adéquate de la fondation doit être effectuée de façon à assurer l'efficacité et le bon comportement de la protection à long terme. Pour ce faire, la terre végétale doit être enlevée et les surfaces à recouvrir doivent être régalées suivant les profils indiqués sur les plans. Le surveillant doit veiller à ce que les pentes indiquées sur les plans soient respectées; dans tous les cas, il faut éviter des pentes plus prononcées que 1V : 1,5H afin de prévenir tout risque d'instabilité de la protection sous l'effet du courant.

Dans le cas d'une structure neuve, le sol des surfaces à recouvrir doit être compacté à 90 % de la masse volumique sèche maximale obtenue avec l'essai Proctor modifié. Cette exigence du CCDG s'impose afin de s'assurer que le sol a la capacité suffisante pour éviter tout affaissement local du revêtement. Dans le cas d'une structure existante, il suffit de s'assurer que le sol soit densifié pour obtenir un sol de portance uniforme.

À moins de spécifications contraires aux plans et devis, le dessus des revêtements posés dans un cours d'eau ne doit pas excéder le lit de celui-ci afin de ne pas réduire la section d'écoulement. Les plans exigent donc généralement une tranchée au pied d'une

protection située en bordure d'un cours d'eau. Cette tranchée est aussi utile pour protéger la berge lorsque le cours d'eau connaît des problèmes d'affouillement. La figure 2.5-3 montre la tranchée au pied d'un revêtement en pierres.

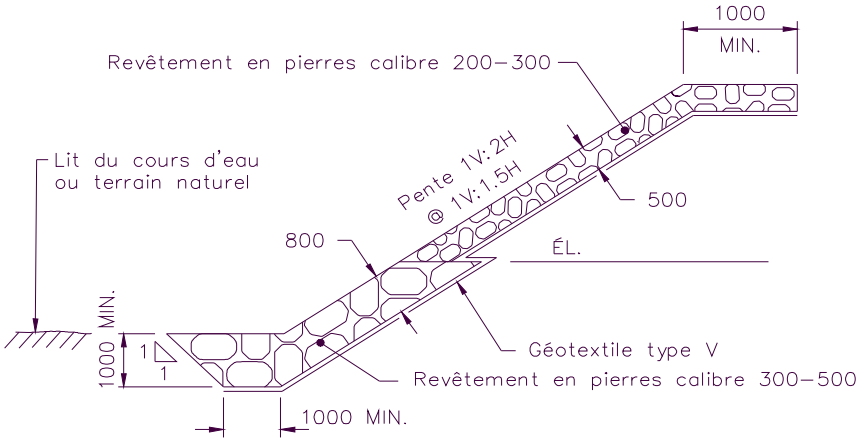


Figure 2.5-3 Coupe type d'un revêtement en pierres

Les revêtements de protection sont conçus pour des conditions qui peuvent être très difficiles et leurs dimensions peuvent donc être très importantes. Ils sont habituellement utilisés pour protéger le remblai et les rives aux approches des structures et peuvent servir de protection contre la mer. Les conditions propres d'utilisation peuvent en faire varier le type, le calibre et l'épaisseur. Leurs dimensions et leur disposition sont fonction des vitesses d'écoulement ainsi que des niveaux d'eau; de plus, un calibre de pierres plus grand est prescrit à la base de la protection.

Dans certains cas, des recommandations d'ordre géotechnique peuvent être indiquées aux plans et devis. Notamment dans les sols argileux, les travaux de mise en place du revêtement pourraient déstabiliser les talus s'ils sont réalisés sans précaution particulière conforme à l'étude géotechnique.

La mise en place de terre végétale sur un enrochement d'un talus doit être conforme aux instructions du chapitre 6 du *Tome IV - Abords de route* de la norme du Ministère (voir la figure 6.3-4 de la norme).

<u>Revêtement en pierres</u>

Compte tenu de l'importance du géotextile dans la tenue du revêtement en pierres, il est exigé au CCDG que l'entrepreneur donne au surveillant un avis écrit d'au moins 24 heures avant d'entreprendre la mise en place du géotextile. Cet avis est demandé dans le but de permettre au surveillant de vérifier adéquatement la compaction du sol et de s'assurer que le géotextile est posé avec soin.

Le revêtement en pierres est la protection dont on se sert le plus dans les projets de ponts, de murs ou de ponceaux. Le calibre des pierres généralement utilisé pour un

ouvrage au-dessus d'un cours d'eau est le calibre 300-500 dans la partie inférieure de la protection et le calibre 200-300 dans sa partie supérieure. Il peut arriver qu'un calibre plus grand soit mentionné dans les plans et devis lorsque les conditions du site l'exigent. Le calibre minimal et le calibre maximal des pierres doivent être indiqués dans l'attestation de conformité.

Le calibre des pierres spécifié dans les plans et devis est fonction des vitesses d'écoulement et des conditions locales d'exposition au courant, et il doit être respecté. En effet, si un calibre de pierres plus petit que celui demandé dans les plans et devis est employé, les pierres les plus petites de la protection seront entraînées par le courant, ce qui déstabilisera la protection. Si un calibre de pierres plus grand est utilisé, l'épaisseur de la protection devra être augmentée en conséquence. Toutefois, le Ministère ne paie pas pour le tonnage additionnel de pierres découlant de cette surépaisseur. Mentionnons que si une sous couche de pierres est utilisée en remplacement d'un géotextile, il n'est pas permis d'augmenter le calibre des pierres de la couche supérieure parce que les pierres de la sous-couche auront tendance à migrer à travers la couche supérieure. De plus, et ce n'est pas négligeable, le respect des limites du calibre des pierres donne une meilleure apparence à l'ensemble de l'ouvrage.

Les pierres doivent être placées avec soin, enchâssées et serrées solidement les unes contre les autres dans toutes les directions et suivant la pente indiquée. Si ce n'est pas le cas, elles auront tendance à rouler et à glisser au bas du revêtement, hypothéquant ainsi l'efficacité de la protection. Les pierres sont déposées à leur emplacement final au moyen du godet d'une pelle hydraulique. Les pierres du dessus du revêtement doivent être placées avec soin et avoir une apparence uniforme; pour ce faire, les aspérités ne doivent pas dépasser la moitié du calibre moyen des pierres.

Lorsqu'un géotextile est exigé dans les plans et devis, la mise en place des pierres doit être faite avec plus de précautions qu'à l'habitude pour éviter de l'endommager. Un géotextile est utilisé pour empêcher la migration des matières fines à travers la protection et de déstabiliser cette dernière.

<u>Revêtements en pierres cimentées, en pavés et en béton</u>

Ces types de revêtements sont très peu utilisés, sauf à l'occasion pour la protection de remblais aux abords d'ouvrages situés en milieu urbain. En effet, leur utilisation est plus coûteuse que le revêtement en pierres, mais leur apparence est meilleure que celle de ce dernier.

Dans le cas d'un revêtement en pierres cimentées, le surveillant doit veiller à ce que la plus grande face de chaque pierre soit posée perpendiculairement à la fondation de façon à obtenir un enrobage de mortier maximal.

PHOTOGRAPHIES

FONDATIONS



Excavation de première classe en paliers



Excavation de première et deuxième classe selon la technique utilisée



Nettoyage de la surface du roc



Fond d'excavation détrempé à assécher



Fond d'excavation détrempé : nécessité d'un coussin de propreté



Chemin d'accès avec pont temporaire



Accès à partir d'une barge



Mur berlinois à l'intérieur d'un batardeau en terre



Section type de palplanches métalliques



Vibrofonceur utilisé pour le fonçage des palplanches métalliques



Mise en place du cadre guide pour le fonçage des palplanches métalliques



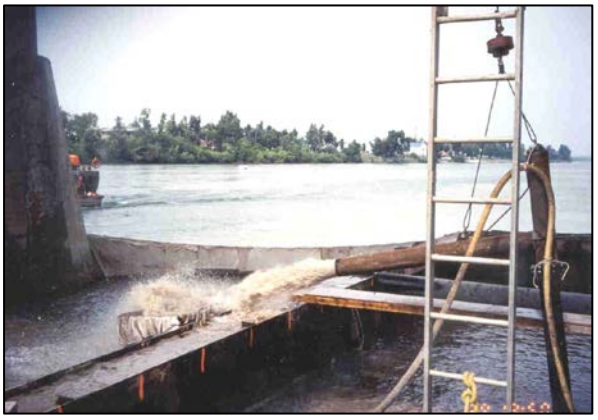
Fonçage de palplanches métalliques à l'aide d'un marteau



Base d’étanchéité



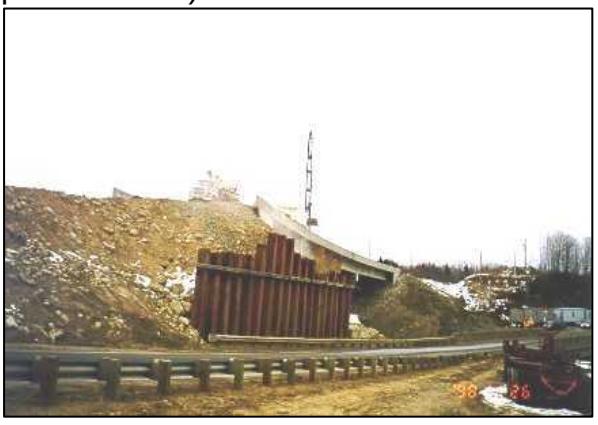
Enlèvement des palplanches métalliques



Trappe à sédiments (entre batardeau et pile existante)



Bassin de sédimentation



Soutènement temporaire en palplanches métalliques



Soutènement temporaire type berlinois



Mise en place de pierres avec une pelle hydraulique



Mise en place d'un géotextile sous le revêtement en pierres



Revêtement en pierres lors de la construction



Revêtement en pierres finalisé



Revêtement en pierres sur un remblai d'approche

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 2 – FONDATIONS

NOTES

Définitions des excavations de première classe et de deuxième classe : voir les articles 11.4.3 et 11.4.5 du CCDG.

Sautage au moyen d'explosifs

- Voir l'article 11.4 du CCDG
- Réglementé par le Code de sécurité pour les travaux de construction
- Documents à remettre par l'entrepreneur
  - L'entrepreneur doit s'entendre avec les propriétaires des services publics (aqueduc, égout, gazoduc, ligne aérienne, chemin de fer) pour mesures de protection (article 6.12 du CCDG)
  - Plan de tir (pour information) : signé et scellé par un ingénieur
  - Horaire de tir : à remettre 24 heures avant tout dynamitage
  - Journal de tir : à remettre immédiatement après chaque dynamitage
  - Copies des résultats pour le contrôle des vibrations et des émanations de monoxyde de carbone

DOCUMENTS REQUIS

- Batardeau
  - Plans d'atelier signés et scellés par un ingénieur (pour information)
    - → Vérifier dimensions de l'élément à construire
    - → Vérifier conflits possibles entre batardeau en palplanches et élément à construire
- Soutènement temporaire
    - → Plans d'atelier signés et scellés par un ingénieur (pour information)

EXIGENCES DE CONCEPTION

- Batardeau
  - Dimensions du batardeau
    - → Hauteur du batardeau : selon le niveau des eaux hautes
    - → Batardeau en palplanches : 600 mm au pourtour de l'ouvrage (ou plus si pieux inclinés)
  - Choix du batardeau : discrétion de l'entrepreneur, sauf si indiqué dans les plans et devis (en rivière : respecter l'article 10.4.3.1 du CCDG)
  - Sols : pas plus de 10 % de matières fines (tamis 80 μm), sinon géotextile
  - Planche pour batardeau en bois : bouvetée et > 75 mm d'épaisseur
  - Chemin d'accès (ponceaux ou pont temporaire) ou barge
    - → Matériaux granulaires utilisés : mêmes exigences que pour ceux d'un batardeau en terre
    - → Suffisamment bas pour permettre l'écoulement des eaux lors d'une crue

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

MATÉRIAUX

Les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ).

Matériaux granulaires et pierres

- Matériaux granulaires
  - Types MG selon norme NQ2560-114 (partie II)
  - Types GG selon norme NQ2560-114 (partie III)
- Pierres
  - Norme 14501 du Ministère (attestation de conformité à obtenir)
  - Calibre minimal, calibre maximal et D_{50} à préciser, le cas échéant

Géotextiles

- Norme 13101 du Ministère (type V)

Pavés

- Norme 3402 du Ministère

Béton

- Base d'étanchement et coussin de support : type V selon norme 3101 du Ministère
- Revêtement de protection : type V selon norme 3101 du Ministère

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit se faire notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport*.

MISE EN ŒUVRE

Mesures de protection de l'environnement (certificats d'autorisation, ouvrages temporaires, périodes d'interdiction, eau de l'assèchement des excavations et des batardeaux)

Batardeau

- Généralités
  - Pas toujours demandé dans le devis spécial; si non demandé, l'entrepreneur doit en faire un au besoin (travaux réalisés au sec, sauf si bétonnage sous l'eau demandé dans le devis)
  - Avis écrit signé par un ingénieur ayant inspecté lui-même l'ouvrage (après la construction)
  - Batardeau en terre
    → Noter les caractéristiques des sols utilisés (photos)
    → Si fait en hiver, éviter masses gelées
  - Batardeau en palplanches métalliques
    → Noter : longueur, enfoncement, durée et méthode de fonçage, obstacles, niveau de l'eau (photos)

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Assèchement du batardeau
  - Pendant l'assèchement
    - → Être attentif pour déceler d'éventuelles déformations du batardeau
    - → Batardeau en palplanches : étaiements à mettre (voir plans d'atelier)
  - Conserver une pompe de rechange au chantier
  - Base d'étanchement (utilisée généralement pour batardeau en palplanches avec sol granulaire)
    - → Pas toujours demandée dans le devis spécial; si non demandée et que l'entrepreneur veut en faire une : consulter concepteur
    - → Fond d'excavation : parallèle à la base de l'ouvrage
    - → Inspection au moyen d'une caméra vidéo à faire (eau à filtrer au besoin)
    - → Bétonnage : selon exigences du bétonnage sous l'eau
    - → Attendre d'avoir 10 MPa avant d'assécher le batardeau
    - → Après assèchement : si dessus pas horizontal, consulter concepteur
- Suivi du comportement d'un batardeau
  - Par l'entrepreneur (surveillant devrait aussi être vigilant), vérifier quotidiennement les relevés de l'entrepreneur
  - À surveiller
    - → Eau : variation niveau du cours d'eau, remous, tourbillons ou dépression, ou rehaussement localisé du niveau de l'eau au pourtour du batardeau
    - → Batardeau : pièces métalliques, érosion
- Enlèvement du batardeau
  - De l'aval vers l'amont (par temps froid : fragmenter d'abord les matériaux gelés)
  - Batardeau en palplanches : coupe permise si cela est autorisé dans le devis spécial

Soutènement temporaire (palplanches métalliques, mur berlinois, blocs ou gabions)

- À faire lorsque demandé dans le devis spécial; si non demandé, l'entrepreneur peut en faire un pour limiter l'envergure des excavations
- Avis écrit signé par un ingénieur ayant inspecté lui-même l'ouvrage (après la construction)
- Noter : longueurs des palplanches ou des pieux, enfoncement, durée et méthode de fonçage, obstacles, nature et niveau des sols, longueurs des palplanches ou des pieux, enfoncement, durée et méthode de fonçage (photos)
- À utiliser comme coffrages : demander autorisation du concepteur
- Enlèvement : au complet ou couper au ras du sol d'appui

Excavations et préparation des fondations

- Vérifier concordance des sols de fondation avec les profils des forages (aviser concepteur si non-concordance (photos))
- Dimensions des excavations
  - Voir CCDG pour dimensions théoriques
    - → Voir devis spécial et Code de sécurité pour les travaux de construction pour pentes d'excavation (autres que le roc)
    - → Excavation finale : juste avant mise en place des coffrages de semelle

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Fond des excavations (autres que sur pieux)
  - Avis écrit 24 heures à obtenir avant l'excavation des derniers 500 mm
  - Derniers 500 mm : utiliser godet sans dents
  - Vérifier si l'élévation est conforme
  - Vérifier concordance avec les sondages (aviser concepteur si non-concordance)
  - Parallèle à la base de l'ouvrage (gradins au besoin)
  - Capacité portante uniforme (sols instables ou remaniés à remplacer par coussin de support, capacité variable du roc et du matériau granulaire : consulter concepteur)
  - Roc
    - → Sain, sans fissures, non fragmenté, surface rugueuse; sinon consulter concepteur
    - → Nettoyage des surfaces
    - → Lorsqu'un confinement est requis, vérifier sa profondeur
    - → Lorsque des ancrages sont requis, à faire selon les plans (ne pas oublier le nettoyage des trous)
  - Avis de l'entrepreneur (24 heures) et avis du surveillant
- Murs de soutènement homologués
  - Fiche selon plans de construction
- Assèchement des excavations
  - Excavations maintenues au sec durant les travaux
  - Eau captée à évacuer loin de la fondation
- Destination des matériaux excavés
  - Les matériaux excavés ne doivent pas être réutilisés comme remplissage des excavations ou comme remblai de l'ouvrage

Coussin

- À la demande des plans ou du surveillant
- Avis écrit 24 heures à obtenir avant la mise en place du coussin
- Épaisseur minimale : 150 mm
- Coussin de support
  - Posé sur fond d'excavation sec (sinon, faire une base d'étanchement)
  - Matériau granulaire : MG 20
  - Par couches de 150 mm (95 % de la masse volumique sèche maximale obtenue avec l'essai Proctor modifié)
  - Fond de roc : utiliser un béton de type V (utiliser un matériau granulaire pour tuyaux utilisés comme ponceaux; les dimensions du fond de l'excavation dans le roc correspondent à celles du coussin de support
  - Murs de soutènement homologués
    - → Vérifier avis technique pertinent au cas où les exigences seraient différentes
- Coussin de propreté
  - Fondation avec pieux lorsque le fond d'excavation est détrempé
  - Matériau granulaire : CG 14, MG 56 ou pierre nette de 20 mm
  - Pas de compaction requise

Remplissage des excavations et remblai

- Avis de 24 heures à obtenir
- Remplissage simultané sur les deux faces opposées (portique, ponceau, pile, mur, semelle)
- Culées et piles pas construites au-dessus d'un plan d'eau
  - Matériau : MG 112, MG20 ou CG 14
  - Remplissage des excavations
    → À partir de des dimensions théoriques d'excavation de la semelle (pente 1V : 1,5H) jusqu'au niveau avant excavation
  - Remblai
    → Remplissage des excavations jusqu'à sous-fondation (culée) ou comme indiqué aux plans (pile ou mur)
  - Murs de soutènement homologués
    → Voir avis technique pertinent
- Piles construites au-dessus d'un plan d'eau
  - Si pas d'exigences dans les plans, utiliser exigences du CCDG
- Ponceaux
  - Voir plans et devis
  - Ponceaux homologués
    → Voir avis technique pertinent
    → Si pas d'exigences dans avis technique
  - Matériau : MG 20 ou CG 14 jusqu'à 600 mm au-dessus du ponceau
  - Ponceaux en PE ou TTOG
    → Vérifier déformations (tuyau de 3 m ou moins : 5 % max; tuyau de plus de 3 m : 2 % max)
    → L'entrepreneur doit fournir méthode de contrôle avant le remblayage
    → Méthodes de contrôle : gabarit 9 points de contact ou profilomètre au laser (ponceau de grand diamètre : fil à plomb vis-à-vis chaque joint d'assemblage)
- Par couches de 300 mm
- Compaction
  - Selon l'article 11.9.2.3.2 du CCDG
  - Petits équipements
    → À moins de 1 500 mm
    → Ponceaux : jusqu'à 1000 mm au-dessus du ponceau (toujours garder 300 mm de matériau entre équipements et ponceau)
  - Ponceaux
    → Vérifier les déformations

Revêtements de protection

- Préparation de la fondation
  - Structure neuve
    → Pentes : selon les plans (maximum : 1V ; 1,5H)
    → Compaction : 90 % de la masse volumique sèche maximale obtenue avec l'essai Proctor modifié

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Structure existante
  - → Terre végétale à enlever
  - → Compaction : portance uniforme

– Niveau dans un cours d'eau : ne pas excéder le lit du cours d'eau (tranchée à construire au pied de la protection)

– Revêtement en pierres (épaisseur : selon calibre, voir CCDG)
  - Partie inférieure : calibre 300-500 sauf si indication contraire sur plans
  - Partie supérieure : calibre 200-300 sauf si indication contraire sur plans
  - Mise en œuvre
    - → Avis de 24 heures à obtenir avant la pose du géotextile
    - → Au moyen d'un godet (emplacement final)
    - → Pierres à enchâsser les unes dans les autres
    - → Dessus du revêtement : apparence uniforme (aspérités < 0,50 du calibre moyen des pierres)
    - → Ne pas endommager le géotextile

CHAPITRE 3

PIEUX

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **3-1**

NORMES **3-2**

3.1 DOCUMENTS REQUIS **3-2**

3.2 EXIGENCES DE CONCEPTION **3-4**

3.3 MATÉRIAUX **3-4**

3.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ **3-8**

3.5 MISE EN ŒUVRE **3-8**

3.5.1 Enfoncement 3-8
3.5.2 Résistance géotechnique 3-33

FIGURES

Figure 3.2-1 Pointes pour pieux 3-7
Figure 3.5-1 Formulaire V-2056 « Enfoncement de pieux battus ou vibrofoncés » 3-15
Figure 3.5-2 Formulaire V-1876 « Journal de fonçage d'un pieu battu ou vibrofoncé » 3-16
Figure 3.5-3 Formulaire 319.1 « Contrôle de la qualité d'un pieu caisson » 3-28
Figure 3.5-4 Formulaire V-1877 « Enfoncement d'un pieu caisson » 3-32
Figure 3.5-5 Montage pour essai en traction – avec un seul vérin 3-39
Figure 3.5-6 Formulaire V-2058 « Essai de chargement d'un pieu - Données » 3-43
Figure 3.5-7 Formulaire V-2057 « Essai de chargement d'un pieu - Graphique » 3-44
Figure 3.5-8 Montages pour essai de chargement 3-46
Figure 3.5-9 Représentation d'un graphique « charge – affaissement » 3-47

PHOTOGRAPHIES **3-49**

AIDE-MÉMOIRE **3-53**

INTRODUCTION

Les pieux sont des éléments structuraux utilisés pour transmettre les charges d'un ouvrage d'art à un sol situé en profondeur. Il s'agit donc d'une phase importante des travaux de construction d'un pont, puisque son bon comportement dépend de la capacité des pieux à transmettre adéquatement les charges de l'ouvrage aux sols sous-jacents.

La résistance géotechnique d'un pieu peut se développer de différentes manières. Certains pieux travaillent principalement en friction (pieux flottants), certains principalement en pointe et d'autres avec une combinaison de ces deux modes. Dans le premier cas, la charge est supportée par la friction latérale développée entre la surface du pieu et le sol tandis que, pour des pieux portant à la pointe, la résistance géotechnique provient de la butée à la pointe, que ce soit sur le roc ou sur une couche possédant une bonne capacité portante.

Le type de pieu le plus couramment utilisé dans les ouvrages du Ministère est le pieu d'acier; il est soit tubulaire et, à l'occasion, rempli de béton, soit en H de profilé HP. Ces pieux permettent de répondre aux exigences quant à la capacité structurale et d'avoir une densité pas trop élevée de pieux à l'intérieur de la semelle d'une unité de fondation. Le pieu en bois, quant à lui, qui a déjà été largement employé dans la première moitié du dernier siècle, a vu son utilisation devenir presque nulle à cause de sa faible résistance structurale. Tous ces pieux sont connus sous le vocable « pieux battus ».

Les pieux caissons sont généralement formés de tubes de grand diamètre, de l'ordre de 1 m et plus. Ils contiennent une cage d'armature et sont toujours remplis de béton. La cage d'armature et le pieu en béton se prolongent dans le roc, qui doit être foré pour former ce que l'on appelle l'emboîture du pieu. En raison de la grande capacité des pieux caissons, leur nombre est réduit. Un contrôle qualité rigoureux de leur mise en œuvre est nécessaire, car :

- il est très difficile d'effectuer des essais de résistance géotechniques sur les pieux caissons sans les fragiliser, compte tenu des grandes charges à appliquer pour réaliser ces essais;
- les correctifs éventuels, en cas de non-conformité, peuvent être très difficiles à réaliser en raison de la position difficilement accessible de la majeure partie du pieu caisson, en particulier l'emboîture et la pointe dans le roc. Compte tenu de leur mise en œuvre qui est très différente de celle des pieux battus il est recommandé au surveillant de s'adjoindre des ressources spécialisées dans ce domaine.

D'autres types de pieux tels que ceux en béton sont aussi disponibles, mais leur usage est très restreint et ne s'applique généralement qu'à des cas particuliers. Pour ces pieux, toutes les spécifications devraient se trouver dans les plans et devis plutôt que dans le Cahier des charges et devis généraux (CCDG). Le surveillant doit consulter le concepteur pour obtenir des directives particulières de mise en œuvre et de contrôle de ces pieux.

NORMES

Afin d'alléger le texte, la description complète des normes citées dans le présent chapitre est faite ici. Ces normes sont :

- CAN/CSA-S6 : Code canadien sur le calcul des ponts routiers
- CSA O80 : Préservation du bois
- CSA-G40.20, CSA-G40.21 : Acier de construction
- ASTM D4945 : Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles
- ASTM D3689 : Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Tensile Load
- ASTM D1143/D1143M : Standard Test Methods for Deep Foundation Under Static Axial Compressive Load
- Norme 3101 du Ministère : Bétons de masse volumique normale
- Norme 5101 du Ministère : Armatures pour les ouvrages en béton
- Norme 6101 du Ministère : Aciers de construction
- Norme 11101 du Ministère : Bois

Mentionnons que les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes (mentionnées ci-haut) émises par l'Association canadienne de normalisation (CSA). Il est à noter que le Ministère n'accepte dorénavant que les pieux conformes à la norme CSA G40.21.

3.1 DOCUMENTS REQUIS

L'entrepreneur doit fournir au surveillant les plans d'atelier des pieux conventionnels et des pieux caissons, ainsi qu'une note de calcul pour les pieux conventionnels. Aucune note de calcul n'est à fournir dans le cas des pieux caissons puisque leur conception est complète au moment de la soumission (sauf pour le tube d'acier).

Pour les pieux conventionnels, les plans d'atelier devraient contenir les renseignements suivants :

- le type de pieu (acier en H, acier tubulaire rempli ou non de béton ou en bois); l'entrepreneur a le choix du type de pieu à moins d'une indication contraire dans les plans et devis;
- les caractéristiques des pieux si elles ne sont pas indiquées sur les plans (dimensions, détails des joints, orientation de l'axe fort des pieux en H);

- les caractéristiques des matériaux;
- le détail des pointes, le cas échéant.

Pour les pieux caissons, les plans d'atelier devraient contenir les renseignements suivants :

- les dimensions du pieu, tel qu'elles ont été établies dans les documents de soumission;
- le détail des soudures;
- l'épaisseur du tube d'acier (responsabilité de l'entrepreneur) et le grade d'acier utilisé;
- la profondeur d'encastrement du tube dans le roc, ajustée en fonction des informations obtenues des forages de contrôle des emboîtures, si ces derniers ont pu être réalisés avant la mise en œuvre des pieux;
- les plaques de renforcement à la base, les dents de forage ou tout autre élément jugé nécessaire par l'entrepreneur pour faciliter le fonçage et l'encastrement du tube ou pour assurer l'intégrité du tube pendant la mise en œuvre. Le détail des soudures de ces éléments doit également être précisé.

La note de calcul, en plus de préciser le critère de refus utilisé pour évaluer la résistance géotechnique des pieux lors du battage, doit démontrer que la résistance structurale des pieux est suffisante pour résister aux charges ultimes indiquées dans les plans, mais également pour permettre la réalisation des essais requis en vue de déterminer la résistance géotechnique sans endommager les pieux, comme prescrit dans l'article 15.3.5.1.1 du CCDG. Mentionnons que la charge d'essai détermine généralement la section du pieu compte tenu des exigences de la norme CAN/CSA-S6.

Le critère de refus des pieux est déterminé par l'entrepreneur et lui sert de moyen de contrôle pour s'assurer que les pieux sont suffisamment enfoncés pour résister aux charges transmises par l'ouvrage; il est défini en termes d'enfoncement en millimètres à la suite d'un certain nombre de coups de marteau en chute libre de X m de hauteur. Le critère de refus de l'entrepreneur est établi dans la note de calcul qui accompagne les plans d'atelier des pieux. Par la suite, durant les travaux de fonçage des pieux, le critère de refus de l'entrepreneur est vérifié à l'aide d'essais de contrôle sur des pieux déjà foncés.

Dans le cas des pieux caissons, l'entrepreneur doit fournir au surveillant, au moins 14 jours avant le début de la mise en œuvre, son programme de travaux qui décrit ses méthodes de fonçage et d'encastrement des tubes, ses méthodes de forage, les équipements prévus, le niveau projeté du fond des emboîtures (de leur base et de leur tête), ainsi que les méthodes de nettoyage et d'inspection des emboîtures. Cette exigence du devis spécial est importante compte tenu des difficultés liées à la réalisation correcte de ces travaux.

Approbation des documents

Selon les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG, ces plans doivent être signés et scellés par un ingénieur; de même, la note de calcul doit aussi être signée par un ingénieur, puisqu'elle constitue un document d'ingénierie. De plus, les exigences relatives au délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour étudier les plans et au nombre minimal de copies à fournir selon le format ISO A1 doivent aussi être respectées.

Le surveillant doit faire viser les plans d'atelier et la note de calcul par le concepteur; ce dernier doit les retourner au surveillant après y avoir apposé son visa. Le visa est un acte par lequel le concepteur reconnaît que le plan est conforme dans ses grandes lignes aux documents contractuels; l'entrepreneur conserve cependant l'entière responsabilité de la conception, de l'exactitude des détails, des dimensions et des quantités. La figure 7.1-1 du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » de ce manuel montre l'estampe type utilisée à titre de visa.

Le surveillant devrait transmettre au concepteur, pour information, le programme de travail de l'entrepreneur concernant la mise en œuvre des pieux caissons.

3.2 EXIGENCES DE CONCEPTION

Lorsque des joints sont requis, les sections de pieux doivent être assemblées par soudage; l'épaisseur des parois doit être d'au moins 8 mm pour permettre la réalisation de soudures adéquates. Cette dernière exigence s'applique à tous les types de pieux en acier. De plus, la section des pieux est augmentée selon les exigences du CCDG pour tenir compte de la corrosion qui affectera les pieux au cours de leur vie utile.

Pour assurer une bonne mise en place du béton, le tube en acier d'un pieu tubulaire rempli de béton doit avoir un diamètre minimal de 300 mm.

Pour éviter d'avoir des pieux en acier de section variable, avec tous les problèmes de transition pour les contraintes et lors de la fabrication, la section des pieux en acier doit être la même sur toute leur longueur.

3.3 MATÉRIAUX

Les spécifications concernant les matériaux relatifs aux pieux proviennent du CCDG, à l'exception de celles relatives aux pointes en acier qui sont indiquées dans les plans et devis.

Acier

Les pieux en acier sont de deux types : les sections tubulaires et les profilés en H. Le pieu à section tubulaire est réalisé avec des sections de type HSS ou peut être formé de plaques soudées en spirales. Le pieu d'acier en H est un profilé laminé ou composé de plaques assemblées.

L'acier entrant dans la fabrication des pieux doit être conforme à la norme 6101 du Ministère. Celle-ci fait référence à la norme CSA-G40.20 et CSA-G40.21 et impose donc le marquage de chaque pieu; tout pieu non marqué doit être refusé.

Béton

À moins d'une indication contraire dans les plans et devis, le béton de remplissage des pieux tubulaires en acier doit être fait avec du béton de type XI tel qu'il est décrit à la norme 3101 du Ministère. Le béton de type XI est utilisé pour les pieux tubulaires parce qu'il est moins cher que les autres types de béton habituellement utilisés sur un pont en raison du pourcentage d'air et du contenu en alcalis qui ne sont pas considérés, puisque le béton est confiné. Le béton peut être placé en chute libre dans le pieu tubulaire, pourvu que ce dernier soit muni d'une pointe et qu'il soit libre d'eau pour le bétonnage. Une goulotte de centrage doit être installée dans la section armée à la partie supérieure d'un pieu tubulaire et la vibration est exigée pour la partie armée.

Le béton utilisé pour les pieux caissons doit être de type XIV-C (béton autoplaçant de construction) si le bétonnage se fait entièrement à sec (tube et emboîture) et de type XV (antilessivage) pour tous les autres cas.

Bois

Le bois et le traitement de préservation à utiliser pour les pieux doivent être conformes aux exigences de la norme 11101 du Ministère. Certains défauts limités tels les gerces, le fil tors, les nœuds, les fentes, les coudes, la courbure et les trous peuvent être tolérés à la condition de répondre aux exigences de la norme. Le traitement de préservation est appliqué uniquement lorsque cela est demandé dans le devis spécial, c'est-à-dire lorsque le sol n'est pas saturé d'eau en tout temps.

Armature

L'armature utilisée pour les pieux remplis de béton et les pieux caissons doit être conforme à la norme 5101 du Ministère.

Pointes

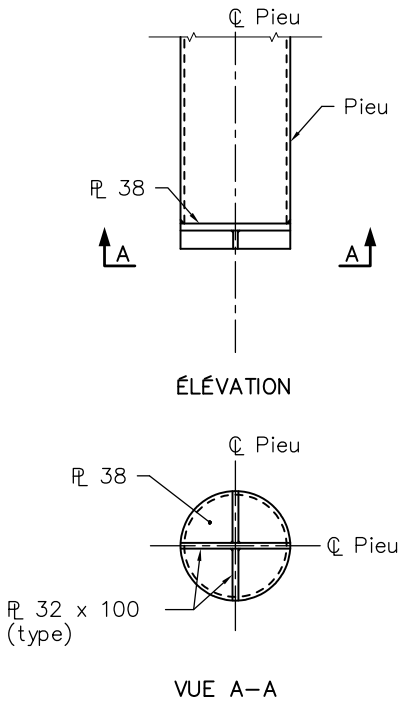
Les pointes sont des renforcements métalliques souvent utilisés à la partie inférieure des pieux en acier, tubulaires ou en H, et des pieux en bois; elles permettent de diminuer le plus possible les risques d'endommager les pieux lors du fonçage. Les pointes sont exigées dans le devis spécial lorsque les sols sont denses et difficiles à traverser ou lorsque les pieux doivent être arrimés dans une surface rocheuse. Ces

pointes diffèrent selon le type de pieu utilisé; cependant, une pointe de type Oslo est généralement exigée dans les plans et devis lorsque la surface rocheuse est très dure ou qu'elle présente une inclinaison supérieure à 30°.

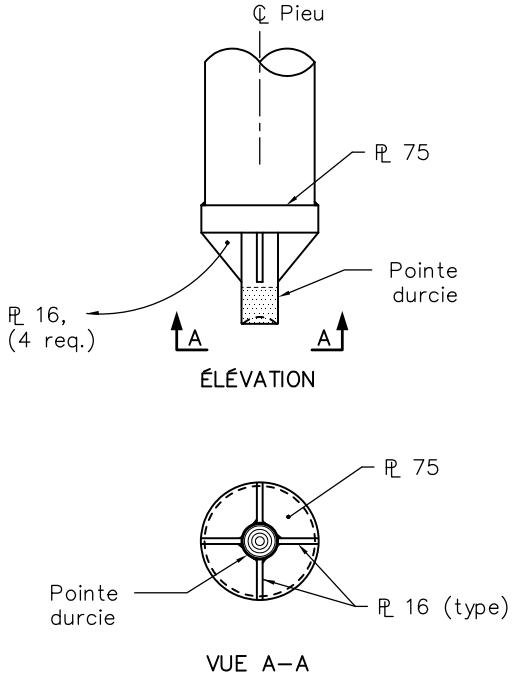
La conception des pointes doit permettre de répartir la charge uniformément sur le pieu tout en ne faisant pas dévier ce dernier lors de l'enfoncement.

Les exigences concernant l'acier utilisé pour la fabrication des pointes sont les mêmes que celles concernant les pieux en acier, à l'exception de la partie cylindrique des pointes Oslo. Tel que cela est décrit dans le détail de ce type de pointe, l'acier du cylindre doit être conforme à la classe AISI 1045 de l'American Iron and Steel Institute et avoir une limite élastique minimale de 300 MPa avant trempage; le trempage est réalisé suivant la procédure indiquée dans les plans et devis.

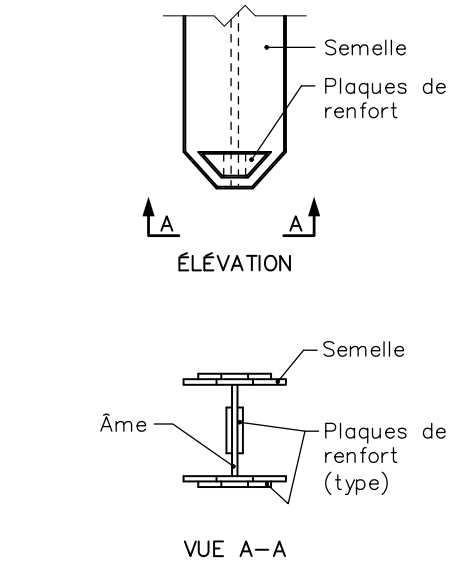
La figure 3.2-1 montre les détails des pointes utilisées par le Ministère; cette figure correspond aux annexes apparaissant dans les plans et devis.



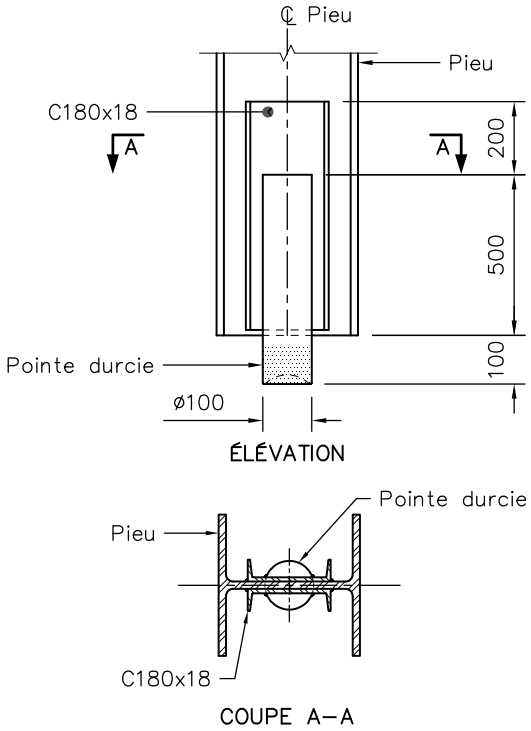
Pointe conventionnelle pour pieu tubulaire



Pointe Oslo pour pieu tubulaire



Pointe pour pieu en acier en H



Pointe Oslo pour pieu en H

Figure 3.2-1 Pointes pour pieux

3.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport.* Pour les éléments en béton ou en acier, le surveillant doit se référer aux chapitres 4 « Ouvrages en béton » ou 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » de ce manuel.

Dans le cas des pointes Oslo, le surveillant doit communiquer avec la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère (via le chargé d'activités du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) pour réaliser l'assurance de la qualité à l'usine à cause de la procédure très particulière de fabrication de ces pointes.

3.5 MISE EN ŒUVRE

Dès l'arrivée des pieux au chantier, le surveillant doit s'assurer de la conformité des matériaux avec les plans d'atelier. Il vérifie d'abord les dimensions des pieux, notamment la longueur, la section ou le diamètre ainsi que l'épaisseur des parois le cas échéant. Il faut vérifier que l'entrepreneur respecte le critère d'une longueur minimale de 10 m entre les sections d'un même pieu (à l'exception de la dernière section qui peut être plus courte). La mesure de l'épaisseur des parois est faite en plusieurs points sur le périmètre du tube, car on peut y trouver quelques variations.

Une bonne pratique consiste à avoir une longueur de pieu un peu plus importante que nécessaire au cas où la tête du pieu serait endommagée lors de l'enfoncement. D'ailleurs, il est exigé au CCDG que la longueur hors sol des pieux utilisés pour les essais soit d'au moins 1,8 m afin de faciliter la réalisation de ceux-ci. Comme on ne peut pas savoir à l'avance quels pieux le surveillant choisira pour les essais, il faut donc que l'ensemble des pieux ait cette longueur hors sol minimale.

3.5.1 Enfoncement

Il faut d'abord vérifier la localisation des pieux avant le battage. Des repères devraient être mis en place à l'extérieur de la semelle, particulièrement si le fond est détrempé et boueux. L'élévation du coussin en matériaux granulaires doit également être vérifiée, lorsque des pieux inclinés sont prévus, afin d'y positionner les pieux adéquatement en fonction de l'élévation d'implantation indiqué aux plans. Il importe de bien situer chacun des pieux, de suivre par la suite leurs déplacements lors de l'enfoncement et de contrôler leur position finale par rapport aux exigences du CCDG.

La position finale des pieux est très importante pour assurer la stabilité de l'ouvrage.

Des variations trop grandes qui n'auraient pu être corrigées lors de l'enfoncement peuvent entraîner l'ajout de pieux ou des modifications aux dimensions de la semelle ou au ferraillage de cette dernière. Tous ces ajouts et modifications sont aux frais de l'entrepreneur. Le surveillant doit consulter le concepteur pour une analyse du problème et de son influence sur la structure.

Avant de traiter de l'enfoncement comme tel, il faut d'abord aborder certaines notions de base, notamment celles concernant les équipements utilisés pour la mise en place des pieux battus et l'énergie de battage.

Le surveillant doit noter dans le journal de chantier les caractéristiques des équipements utilisés, notamment celles du casque de battage, incluant l'épaisseur du coussin employé. Une bonne pratique consiste également à prendre plusieurs photos montrant les différentes étapes des travaux afin d'appuyer adéquatement les observations du journal de chantier.

Mentionnons que, dans certaines conditions de sol, des pieux déjà enfoncés peuvent se soulever ou s'enfoncer sous l'effet des vibrations dues au battage de pieux adjacents. L'entrepreneur doit prendre les dispositions nécessaires pour éviter ces déplacements en employant des techniques telles que l'ajout de charge sur des pieux tubulaires, le battage par secteurs éloignés les uns des autres ou le battage discontinu dans le temps de certaines zones.

Équipement

L'équipement de base est généralement constitué d'une grue et d'un mât. Un profilé modifié vient s'y ajouter pour guider le marteau et le pieu; ce profilé, qui s'appelle une jumelle, devrait toujours être attaché en tête et de préférence retenu aussi au pied; il peut s'utiliser à la verticale ou incliné. L'attache de la jumelle en tête est nécessaire pour s'assurer que le coup de marteau est bien centré sur le pieu. Les autres équipements nécessaires ou disponibles sont le casque de battage ainsi que le marteau ou le vibrofonceur.

Un casque de battage formé d'un chapeau et d'un coussin doit être prévu sur la tête du pieu afin d'éviter de l'endommager. Le coussin est généralement constitué de pièces de bois dur ou de contreplaqué. Il doit être en bon état et, le cas échéant, conforme aux recommandations du manufacturier du marteau utilisé.

L'énergie nécessaire à l'enfoncement du pieu est engendrée par le marteau ou le vibrofonceur. Plusieurs types de marteaux sont offerts sur le marché, notamment le marteau à chute libre, le marteau diesel et les marteaux à air ou à vapeur. Le marteau à chute libre peut être hydraulique ou à câble. Mentionnons que le marteau hydraulique est de plus en plus utilisé par les entrepreneurs, tandis que le marteau à câble l'est de moins en moins. Quant aux marteaux diesel, à air ou à vapeur, ils sont maintenant très peu utilisés, voire obsolètes.

Le marteau à chute libre est utilisé pour battre le pieu au moyen d'une masse en acier tombant librement sur celui-ci. La masse du marteau et la hauteur de chute varient selon le type de pieu à foncer, la résistance géotechnique à obtenir et la nature du sol. Dans le cas du marteau à câble, tel que son nom l'indique, cette masse est soulevée par un câble et guidée par la jumelle. La masse en acier couramment utilisée est de l'ordre de 2 000 à 2 500 kg. Dans le cas du marteau hydraulique, l'énergie d'impact est également contrôlée par la masse et sa hauteur de chute. Le système hydraulique

permet en plus de contrôler la cadence des impacts, qui peut atteindre 80 coups/minute et ainsi augmenter considérablement la productivité. De plus, les marteaux hydrauliques sont généralement équipés d'un GPS et d'un système d'acquisition permettant l'enregistrement en continue dans le temps de toute la séquence de battage, c'est-à-dire l'énergie de battage et l'enfoncement du pieu sous chacun des impacts donnés, le nombre d'impacts donnés, les temps d'arrêt, etc.

Le vibrofonceur, quant à lui, fonctionne selon le principe de la vibration unidirectionnelle dans un plan vertical. La vibration détruit le frottement latéral par liquéfaction des sols saturés et permet l'enfoncement du pieu sous l'effet de son propre poids combiné avec celui du vibrofonceur. Ce type d'équipement est surtout employé pour la mise en place des palplanches et des pieux caissons; s'il est utilisé pour le fonçage des pieux battus, le refus est vérifié pour chaque pieu au moyen d'un marteau conventionnel, puisque le refus est déterminé uniquement avec ce dernier type de marteau. Dans le but de minimiser l'impact des ondes vibratoires sur les sols et les structures avoisinantes, il est préférable d'utiliser des vibrofonceurs à moment variable et à haute fréquence qui ne génèrent que de faibles vitesses particulaires dans les sols.

Contrôle des ondes vibratoires

Le contrôle des ondes vibratoires vise à limiter, dans le voisinage immédiat des travaux, l'emploi d'équipements lourds ou d'explosifs susceptibles de générer des ondes vibratoires nuisibles sur les sols et, conséquemment, sur les infrastructures supportées par ces sols. Parmi ces équipements lourds, on retrouve les vibrofonceurs, les marteaux de fonçage hydraulique ou diesel (avec une cadence supérieure à 40 coups/min) et les vibreurs ou compacteurs utilisés pour la densification des sols.

Lorsque de tels équipements ou travaux doivent être utilisés ou réalisés à moins de 30 m de la fondation d'un ouvrage d'art (culée, pile, mur, ponceau, etc.) existant ou en construction (une fois que le béton a atteint une résistance à la compression d'au moins 70 % de f'c), les vitesses particulaires admissibles dans les sols situés dans le voisinage immédiat de cet ouvrage doivent être restreintes aux limites suivantes mesurées sur n'importe laquelle des trois composantes de l'onde (transversale, longitudinale et verticale) :

- fréquences $\leq$ 8 Hz : 3 mm/sec
- 8 Hz < fréquences $\leq$ 30 Hz : 5 mm/sec
- fréquences > 30 Hz : 8 mm/sec

Ces limites ne s'appliquent pas à l'unité de fondation pour laquelle l'équipement est utilisé, sauf lors de l'extraction des pieux et palplanches d'ouvrages temporaires.

Le but du contrôle des ondes vibratoires, point abordé dans le cadre de la présente section du manuel, est d'éviter de créer des déformations dans les sols qui supportent une unité de fondation, que cette dernière soit superficielle ou profonde. En effet, certains types de sol, lorsqu'ils sont soumis à des vibrations intenses, peuvent perdre

de la capacité et se déformer. Si une unité de fondation est appuyée sur un sol de faible compacité, des déplacements de l'unité de fondation et, donc, des problèmes de comportement de la structure peuvent apparaître.

Pour cette raison, le devis spécial précise généralement un contrôle des ondes vibratoires, en présence de sol pulvérulent de compacité lâche à très lâche ou de sol argileux sensible, pour une unité de fondation sur semelle superficielle ou sur pieux.

Lorsqu'un contrôle des ondes vibratoires est exigé, celui-ci est réalisé par une entreprise spécialisée dans le domaine, engagée par l'entrepreneur. Les ondes vibratoires sont mesurées au moyen d'appareils similaires à des sismographes déposés au sol à proximité de l'ouvrage à protéger. Toute anomalie dans la mesure des ondes vibratoires se doit d'être immédiatement portée à l'attention du surveillant.

Énergie de battage

L'énergie de battage produite par un marteau à chute libre agissant sous l'effet de la gravité, soit à chute libre, soit à simple action lorsque de l'air comprimé ou de la vapeur est utilisée, est définie par l'équation suivante :

E = Mgh

où

E: Énergie en joules (J);

M : Masse du marteau en kg;

g : Accélération due à la gravité (9,81 m/s2);

h : Hauteur de chute du marteau en m.

Pour tout marteau développant une énergie autre que celle créée par une chute libre, l'énergie de battage fait partie des caractéristiques du marteau que l'entrepreneur doit fournir au surveillant. Il est important de noter que le surveillant doit bien comprendre le fonctionnement du marteau utilisé. S'il n'est pas familier avec ce dernier, il peut demander à l'entrepreneur, avant le début des travaux, des renseignements à ce sujet.

Le surveillant doit voir à ce que l'énergie de battage transmise au pieu soit bien contrôlée afin de valider adéquatement la résistance géotechnique des pieux. Dans le cas d'un marteau à chute libre, ce dernier doit tomber librement sans être retenu par le câble ni subir une friction excessive le long de la jumelle. Pour les autres types de marteaux, l'énergie de battage doit respecter en tout temps les spécifications du manufacturier et être en bon état de fonctionnement.

L'énergie maximale de battage spécifiée dans le CCDG pour chaque type de pieu ne doit jamais être dépassée. À cause de conditions particulières du sol, par exemple un sol contenant des blocs, une couche plus dense ou encore un arrimage au roc, il peut être nécessaire (voire obligatoire pour l'arrimage du roc) de réduire l'énergie de battage pour ne pas endommager le pieu et surtout pour éviter que le pieu dévie de sa

trajectoire. Les sections 3.5.1.1 « Pieu en acier » et 3.5.1.2 « Pieu en bois » qui suivent traitent des limites applicables à l'énergie de battage pour des pieux battus en acier et en bois.

Mise en œuvre des pieux battus en acier ou en bois

Les pieux battus sont foncés soit à la verticale, soit en position inclinée. Les pieux inclinés sont utilisés pour augmenter la résistance aux charges latérales de l'unité de fondation.

Le surveillant vérifie la masse du marteau en mesurant ses dimensions et en multipliant le volume obtenu par la masse volumique de l'acier, soit 7 850 kg/m^3.

L'utilisation d'une grande hauteur de chute risque d'endommager la pointe ou la tête du pieu si l'enfoncement est difficile; il est généralement préférable de diminuer la hauteur de chute pour traverser un sol très dense ou pour arrimer un pieu au roc.

Lorsqu'un marteau à air ou à vapeur est utilisé, la cadence de frappe et la pression de l'air ou de la vapeur doivent être régulièrement contrôlées, surtout à la fin de l'enfoncement d'un pieu lors de la vérification de l'atteinte du critère de refus. Si l'entrepreneur n'est pas capable de contrôler adéquatement l'énergie de battage avec un marteau à air ou à vapeur, il doit terminer l'enfoncement avec un marteau à chute libre.

Les sections 3.5.1.1 « Pieu en acier », 3.5.1.2 « Pieu en bois » et 3.5.1.3 « Pieux caissons » qui suivent traitent des particularités de la mise en œuvre de chacun de ces types de pieux.

Suivi de l'enfoncement des pieux battus en acier ou en bois

Le suivi de l'enfoncement des pieux battus doit être effectué autant par l'entrepreneur que par le surveillant. Pour ce faire, le surveillant doit remplir deux formulaires.

Un premier formulaire, le V-2056 « Enfoncement de pieux battus ou vibrofoncés », sert à vérifier le comportement des pieux et à s'assurer qu'ils ont tous un comportement similaire en vérifiant que chaque pieu est bien battu selon le critère de refus théorique établi à la note de calcul des pieux (voir la figure 3.5-1).

Pour les pieux qui ne sont pas foncés jusqu'au roc, le surveillant doit noter, vers la fin du fonçage, l'enfoncement pour chaque série de coups de marteau afin de vérifier la progression du pieu vers l'atteinte de sa résistance géotechnique en fonction du critère de refus théorique ou de celui établi au chantier. Le nombre de coups de marteau correspondant à chaque série est celui établi par l'entrepreneur lors de l'élaboration du critère de refus. Ce suivi est nécessaire pour éviter qu'un obstacle imprévu, comme un bloc, laisse croire à l'obtention de la résistance géotechnique nécessaire. Une fois que le fonçage semble terminé, le surveillant doit toujours contrôler la longueur foncée avec celle qui était prévue dans les plans d'atelier et celle qui a été obtenue sur les pieux adjacents.

Le critère de refus établi par l'entrepreneur est souvent vérifié sur le premier pieu foncé sur le chantier. Par la suite, après la réalisation des essais de résistance géotechnique sur ce pieu, un réajustement du critère de refus de l'entrepreneur peut être nécessaire afin d'ajuster le battage en conséquence pour la poursuite des travaux. Une fois le critère de refus confirmé ou réajusté au chantier, l'entrepreneur doit s'en servir pour tous les pieux qui restent à foncer; il doit également l'utiliser pour effectuer le rebattage des pieux déjà foncés si la vérification n'a pas été faite sur le premier pieu foncé et que le critère de refus théorique ne correspond pas à la capacité requise des pieux.

De plus, pour un roc très fracturé (ou très friable) ou lorsque cela est indiqué au devis spécial, trois pieux parmi les premiers enfoncés pour une même unité de fondation doivent être rebattus après un délai d'attente d'au moins 24 heures après l'atteinte du refus de ces pieux, de façon à confirmer le même critère de refus que celui utilisé initialement. Cette exigence est nécessaire pour tenir compte du phénomène de relaxation associé à ce type de roc. Si les résultats du rebattage pour ces trois pieux sont conformes aux exigences, il n'est pas nécessaire de rebattre l'ensemble des pieux. Par contre, si un des pieux n'est pas conforme aux exigences, l'entrepreneur doit tous les rebattre au moins 24 heures après la fin du battage de chacun. Au moins 24 heures après le rebattage, les trois mêmes pieux doivent faire l'objet d'un second rebattage pour vérifier à nouveau l'atteinte du refus. Si ces critères ne sont pas respectés, la procédure indiquée ci-dessous se répète jusqu'à l'obtention du critère de refus sur les trois pieux désignés. Aucun rebattage n'est permis dans le cas des pieux foncés entièrement dans des sols cohérents (sols argileux) et qui sont conçus principalement pour supporter des charges en friction (pieux flottants; leur pointe ne repose pas sur un horizon de sol pulvérulent dense, sur un bloc ou sur le roc). Il est à noter que la procédure de rebattage mentionnée ci-haut peut s'appliquer dans le cas où la pointe des pieux atteint un refus dans un horizon de sol dense ou d'un till dense contenant une fraction importante de particules fines (environ 15 % et plus de particules inférieures à 80 µm); dans ce cas, le premier délai de rebattage peut atteindre plusieurs jours.

Le surveillant doit soigneusement inscrire les renseignements relatifs au battage de chaque pieu dans son carnet de notes. Une fois le battage d'un pieu terminé, il doit rapporter le résumé de cette information sur le formulaire V-2056 « Enfoncement de pieux battus ou vibrofoncés ». Outre le numéro du pieu correspondant au croquis identifiant chacun des pieux d'une semelle qui doit être dessiné sur le formulaire, le surveillant doit noter l'enfoncement constaté à la suite des 100 derniers coups de marteau, l'enfoncement constaté à la suite de la dernière série de coups de marteau établissant le critère de refus, la longueur totale avant et après l'arasement ainsi que le nombre de joints présents dans le pieu.

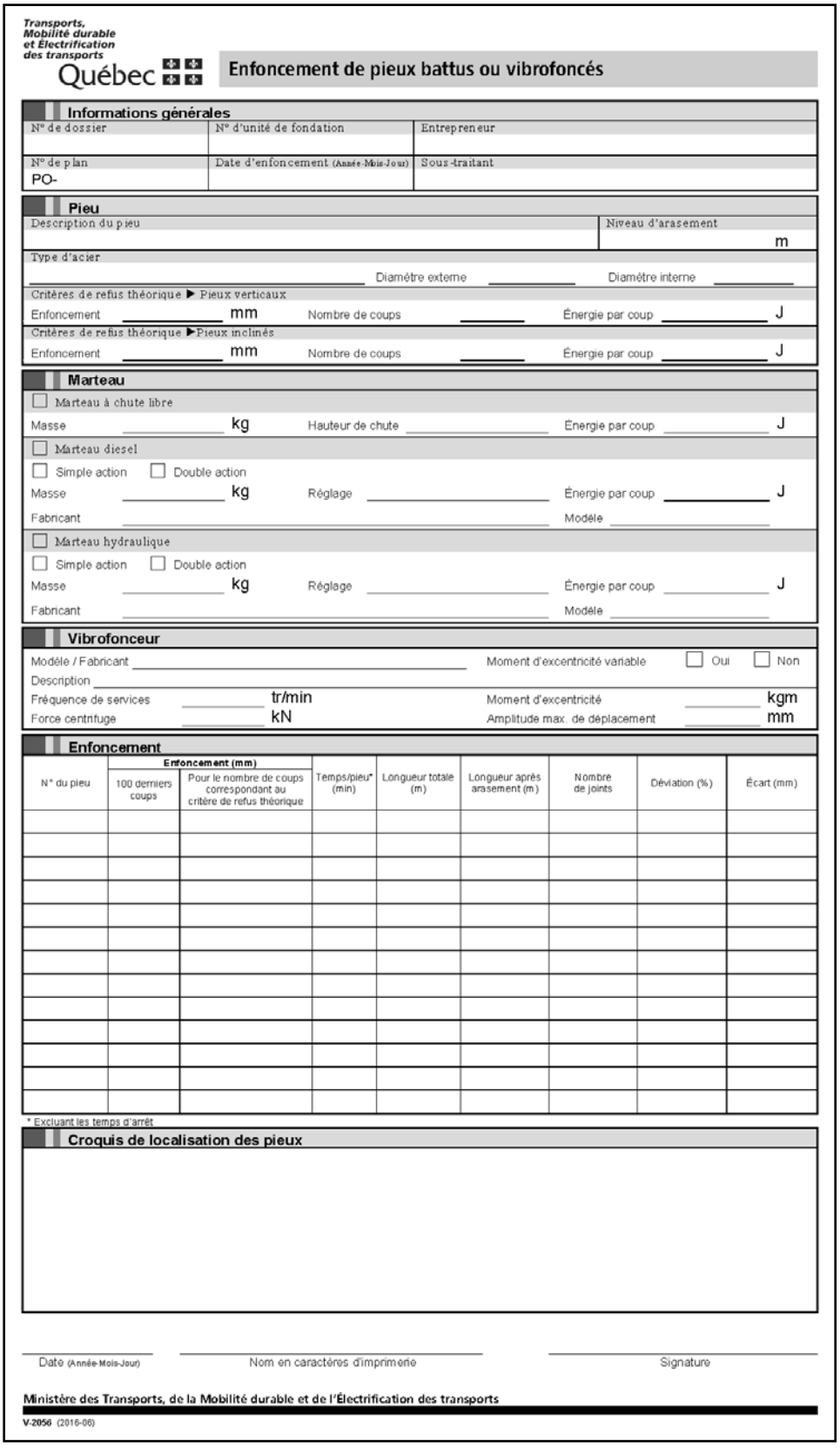
Pour les pieux qui doivent être foncés jusqu'au roc sain, le surveillant doit veiller à ce que le pieu fasse bien contact avec le socle rocheux et non-pas avec un bloc ou un sol dense. Une fois que le fonçage semble terminé, le surveillant doit toujours contrôler la longueur foncée avec celle qui était prévue dans les plans de sondage et celle qui a été obtenue sur les pieux adjacents. Un arrêt brusque de l'enfoncement, un rebondissement du marteau et un changement de son dans le bruit du fonçage sont, sans représenter des critères absolus, des signes habituels de contact avec le roc.

Parfois, la présence d'une couche de sol dense avant le roc fera en sorte que l'on puisse arrêter le plantage dans cette couche. Encore une fois, il faut utiliser le critère de refus théorique ou celui confirmé au chantier afin de vérifier la progression du pieu vers l'atteinte de sa résistance géotechnique.

Une fois le roc sain atteint, il est parfois nécessaire d'arrimer le pieu muni d'une pointe au roc afin d'augmenter la retenue latérale à la base du pieu; les spécifications à cet effet se trouvent au devis spécial. Dans le cas d'un pieu muni d'une pointe Oslo et qui est foncé au moyen d'un marteau à chute libre, ces dernières stipulent que l'énergie de battage est réduite de 50 % lorsque le pieu est à moins de 1 m du niveau estimé du roc et jusqu'à ce qu'il s'appuie sur celui-ci. Ensuite, l'enfoncement est continué durant 20 coups en utilisant de faibles hauteurs de chute (de 150 à 200 mm). L'enfoncement est ensuite mesuré et il est poursuivi par séquence de 20 coups tant qu'il y a enfoncement de plus de 3 mm. Lorsque l'enfoncement est inférieur à 3 mm après 20 coups, le battage recommence avec une hauteur de chute doublée et ainsi de suite, jusqu'à l'atteinte de la hauteur de chute prévue initialement. Si l'enfoncement est inférieur à 3 mm après 20 coups à cette hauteur, le battage est arrêté. Lorsque le pieu est foncé au moyen d'un autre type de marteau, l'énergie de battage nécessaire pour arrimer un pieu au roc doit être proportionnelle à celle obtenue lors de l'utilisation d'un marteau à chute libre.

Le formulaire V-1876 « Journal de fonçage d'un pieu battu ou vibrofoncé », quant à lui, permet de suivre plus précisément l'enfoncement sur toute la longueur du pieu et de comparer les données ainsi recueillies avec celles provenant des sondages. Ce suivi précis est réalisé sur environ 10 % des pieux d'une semelle. Le surveillant choisit les pieux de façon à ce qu'ils soient représentatifs de l'ensemble des pieux, car les essais de résistance géotechnique seront ultérieurement réalisés parmi les pieux ayant fait l'objet de ce suivi particulier. Bien que les données de ce formulaire ne soient utiles qu'en cas de problème, elles sont grandement appréciées lorsque cela est nécessaire, puisqu'elles permettent à l'ingénieur en géotechnique de vérifier si le comportement du pieu est régulier et s'il correspond aux attentes. Le surveillant se doit donc de transmettre ce formulaire au concepteur si des interrogations surviennent au chantier (voir la figure 3.5-2).

Le surveillant doit soigneusement noter l'information relative au battage de chaque pieu sélectionné directement sur le formulaire V-1876 « Journal de fonçage d'un pieu battu ou vribrofoncé ». Au début du fonçage, il peut fixer le nombre de coups à 100; ce nombre est diminué progressivement lors du battage, pour être égal, vers la fin du battage, au nombre de coups du critère de refus établi par l'entrepreneur. La hauteur de chute est notée parce qu'elle peut être diminuée, comme dans le cas du passage au travers d'une couche de sol dense. De plus en plus, les entrepreneurs sont équipés de systèmes de battage permettant l'acquisition automatique de toutes ces données en continu et en fonction du temps. À la demande du surveillant, l'entrepreneur devrait accepter de transmettre l'information aussi souvent qu'il est nécessaire de le faire.



Transports, Mobilité durable et Électrification des transports
Québec

Enfoncement de pieux battus ou vibrofoncés

Informations générales

N° de dossier	N° d'unité de fondation	Entrepreneur
N° de plan	**Date d'enfoncement** (Année-Mois-Jour)	**Sous-traitant**
PO-		

Pieu

Description du pieu | Niveau d'arasement ____ m

Type d'acier ____ Diamètre externe ____ Diamètre interne ____

Critères de refus théorique ▶ Pieux verticaux

Enfoncement ____ mm Nombre de coups ____ Énergie par coup ____ J

Critères de refus théorique ▶ Pieux inclinés

Enfoncement ____ mm Nombre de coups ____ Énergie par coup ____ J

Marteau

☐ Marteau à chute libre

Masse ____ kg Hauteur de chute ____ Énergie par coup ____ J

☐ Marteau diesel

☐ Simple action ☐ Double action

Masse ____ kg Réglage ____ Énergie par coup ____ J

Fabricant ____ Modèle ____

☐ Marteau hydraulique

☐ Simple action ☐ Double action

Masse ____ kg Réglage ____ Énergie par coup ____ J

Fabricant ____ Modèle ____

Vibrofonceur

Modèle / Fabricant ____ Moment d'excentricité variable ☐ Oui ☐ Non

Description ____

Fréquence de services ____ tr/min Moment d'excentricité ____ kgm

Force centrifuge ____ kN Amplitude max. de déplacement ____ mm

Enfoncement

N° du pieu	Enfoncement (mm)		Temps/pieu* (min)	Longueur totale (m)	Longueur après arasement (m)	Nombre de joints	Déviation (%)	Écart (mm)
	100 derniers coups	Pour le nombre de coups correspondant au critère de refus théorique						

* Excluant les temps d'arrêt

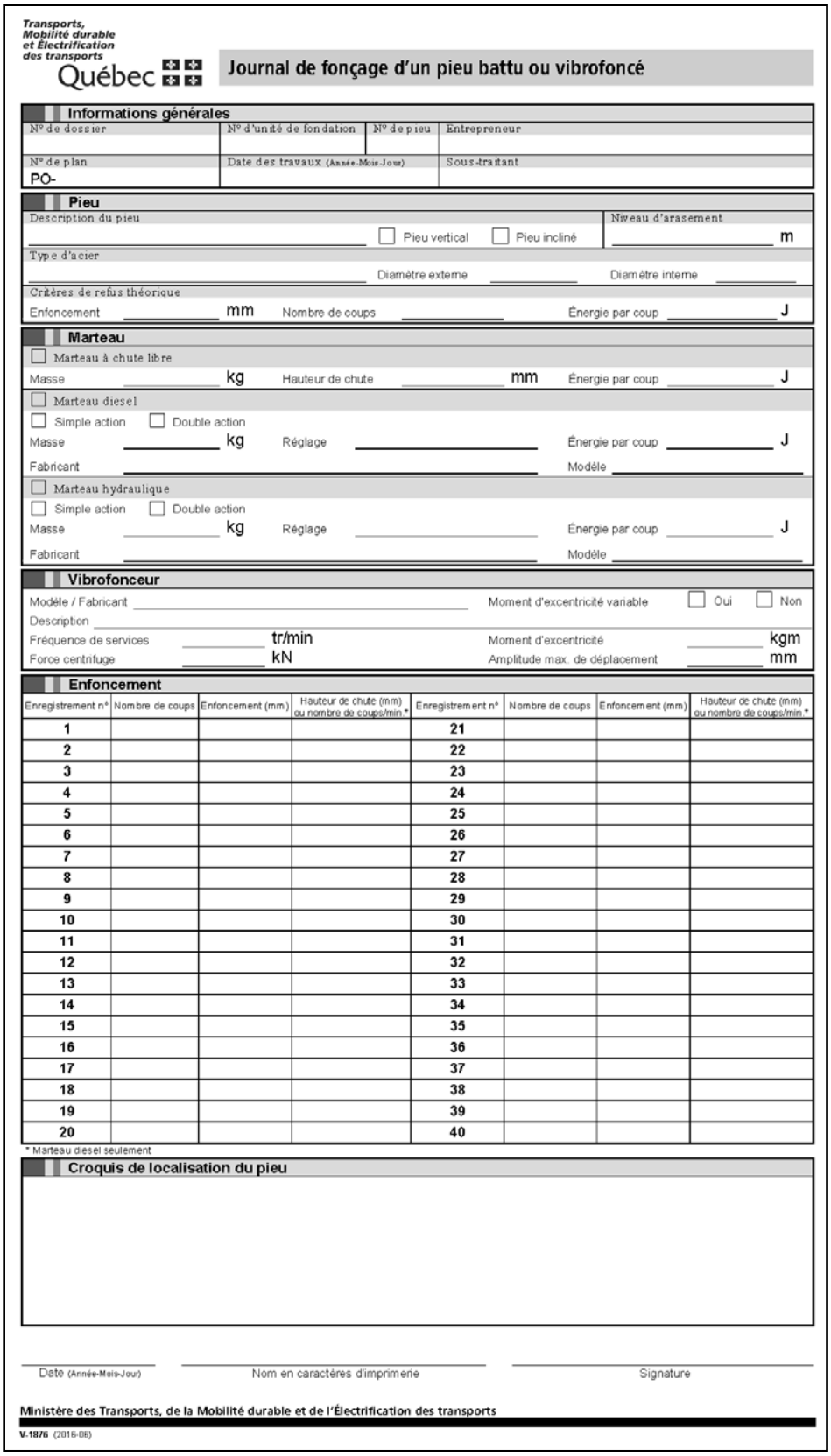
Croquis de localisation des pieux

Date (Année-Mois-Jour) Nom en caractères d'imprimerie Signature

Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports

V-2056 (2016-06)

Figure 3.5-1 Formulaire V-2056 « Enfoncement de pieux battus ou vibrofoncés »



Transports, Mobilité durable et Électrification des transports
Québec

Journal de fonçage d'un pieu battu ou vibrofoncé

Informations générales

N° de dossier	N° d'unité de fondation	N° de pieu	Entrepreneur
N° de plan	**Date des travaux** (Année-Mois-Jour)		**Sous-traitant**
PO-			

Pieu

Description du pieu ☐ Pieu vertical ☐ Pieu incliné — Niveau d'arasement _____ m

Type d'acier — Diamètre externe _____ Diamètre interne _____

Critères de refus théorique

Enfoncement _____ mm Nombre de coups _____ Énergie par coup _____ J

Marteau

☐ Marteau à chute libre

Masse _____ kg Hauteur de chute _____ mm Énergie par coup _____ J

☐ Marteau diesel

☐ Simple action ☐ Double action

Masse _____ kg Réglage _____ Énergie par coup _____ J

Fabricant _____ Modèle _____

☐ Marteau hydraulique

☐ Simple action ☐ Double action

Masse _____ kg Réglage _____ Énergie par coup _____ J

Fabricant _____ Modèle _____

Vibrofonceur

Modèle / Fabricant _____ Moment d'excentricité variable ☐ Oui ☐ Non

Description _____

Fréquence de services _____ tr/min Moment d'excentricité _____ kgm

Force centrifuge _____ kN Amplitude max. de déplacement _____ mm

Enfoncement

Enregistrement n°	Nombre de coups	Enfoncement (mm)	Hauteur de chute (mm) ou nombre de coups/min *	Enregistrement n°	Nombre de coups	Enfoncement (mm)	Hauteur de chute (mm) ou nombre de coups/min *
1				21			
2				22			
3				23			
4				24			
5				25			
6				26			
7				27			
8				28			
9				29			
10				30			
11				31			
12				32			
13				33			
14				34			
15				35			
16				36			
17				37			
18				38			
19				39			
20				40			

* Marteau diesel seulement

Croquis de localisation du pieu

Date (Année-Mois-Jour) _____ Nom en caractères d'imprimerie _____ Signature _____

Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports

V-1876 (2016-06)

Figure 3.5-2 Formulaire V-1876 « Journal de fonçage d'un pieu battu ou vibrofoncé »

3.5.1.1 Pieu en acier

Pour le pieu en acier, qu'il soit tubulaire ou en H, l'énergie maximale de battage est limitée à 6 joules (J) par mm^2de section d'acier du pieu.

Il peut arriver que l'entrepreneur désire utiliser une analyse appelée « méthode de l'équation d'onde » pour avoir une énergie de battage un peu supérieure à 6 J par mm^2, afin de faciliter l'enfoncement dans certaines situations particulières, et ce, pourvu que la contrainte induite dans le pieu soit inférieure à 85 % de la limite élastique de l'acier. Cette analyse, qui doit être réalisée par une entreprise spécialisée en analyse dynamique de pieu et qui doit être présentée par écrit au surveillant, doit être transmise au concepteur pour commentaires avant d'autoriser l'entrepreneur à procéder.

Voici un exemple de détermination de la hauteur de chute :

Considérons un pieu en H de 250 mm fabriqué en acier dont la limite élastique est de 350 MPa, ayant une section de 10 900 mm^2 et battu avec un marteau de 2 000 kg. On obtient une énergie maximale permise de battage de 65 400 J, ce qui correspond à une hauteur de chute maximale de 3,33 m. En effet :

$$Emax = 6 \times 10\,900 = 65\,400 \text{ J}$$

$$h = E \div Mg = 65\,400 \div (2\,000 \times 9{,}81) = 3{,}33 \text{ m}$$

Les joints doivent être réalisés au moyen de soudures bout à bout à pleine pénétration. Puisque ces soudures sont structurales, les exigences du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » du présent manuel s'appliquent, notamment leur vérification à 100 % de leur longueur par ultrasons sur au moins 25 % des joints par une entreprise reconnue, de façon à garantir leur qualité. L'article 15.7.5.4 exige aussi que les soudures soient réalisées avec le procédé de soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW), qui est le processus courant de soudure au chantier. Le procédé de soudage au fil fourré (FCAW ou MCAW) est autorisé, mais un abri est requis. Cette technique permet de limiter les arrêts-départs dans la soudure.

Il est exigé au CCDG que les joints soudés soient positionnés perpendiculairement à l'axe du pieu. Cette exigence s'impose afin d'obtenir un meilleur comportement structural du pieu lors du battage.

Mentionnons qu'il est maintenant exigé à l'article 15.7.5.4.2 « Contrôle des soudures » du CCDG que l'inspecteur en soudage doit attester sur-le-champ au surveillant que les soudures sont conformes aux exigences; un rapport écrit doit être ensuite remis dans les 7 jours au surveillant.

Dans le cas des pieux tubulaires fabriqués avec une plaque torsadée, le devis spécial exige également un contrôle des soudures réalisées en usine lors de la fabrication du pieu :

- rectitude de L/500;
- sur 15 % des tubes de chaque lot, avec un min. de 3 tubes :
  - inspection par ultrasons 1 m aux extrémités;
  - soudures d'aboutement de plaques, vérifiées à 100 % par ultrasons;
  - décalage des plaques inférieur à 10 % de l'épaisseur et 3 mm au maximum.

La rectitude est mesurée en considérant la longueur des tubes qui sont expédiées au chantier. Quant au décalage des plaques, il est mesuré par la prise d'une droite aléatoire tracée d'un bout à l'autre du pieu. Les mesures de décalage sont effectuées pour chaque intersection des soudures avec cette droite.

Lors de l'enfoncement d'un pieu en acier en H, il faut s'assurer que l'orientation de l'axe fort des pieux est conforme aux plans d'atelier. Si l'information n'est pas présente dans ces plans, le surveillant doit consulter le concepteur.

Pieu en acier tubulaire rempli de béton

Le pieu mixte composé d'un tube en acier foncé puis bétonné est souvent utilisé dans les ouvrages du Ministère. Lorsqu'ils sont soumis à des efforts importants de traction, il peut arriver que des ancrages au roc soient prévus à l'intérieur de ces pieux. Dans ce cas, le détail de ces ancrages est donné dans les plans. Le surveillant doit vérifier la profondeur et la propreté des trous des ancrages; le nettoyage est habituellement effectué au moyen d'un jet d'eau.

Les exigences citées précédemment au sujet de l'énergie de battage et de la mise en œuvre des pieux battus (pieux en acier) s'appliquent également au tube de ce type de pieux.

Dans les cas de pieux tubulaires ancrés, l'entrepreneur doit respecter les exigences du chapitre 4 « Ouvrages en béton » du présent manuel, notamment celles concernant l'utilisation d'une trompe à l'intérieur des pieux tubulaires pour éviter la ségrégation du béton.

3.5.1.2 Pieux en bois

Deux limites sur l'énergie de battage sont prescrites dans le CCDG pour les pieux en bois. La première concerne l'énergie maximale de battage, qui est déterminée par la formule 80D, alors que la deuxième fait référence à l'énergie maximale par millimètre d'enfoncement, qui est déterminée par la formule 125D.

Voici un exemple d'application :

Considérons un pieu en bois d'un diamètre de 150 mm à la pointe et un marteau de 2 000 kg, on obtient une énergie maximale de battage de 12 000 joules (J), ce qui correspond à une hauteur de chute maximale de 612 mm. En effet :

Emax = 80 x 150 = 12 000 J

E = Mgh d'où h = E ÷ Mg = 12 000 ÷ (2 000 x 9,81) = 0,612 m = 612 mm

L'énergie maximale de battage par millimètre d'enfoncement, quant à elle, est de 18 750 J, ce qui correspond à un enfoncement minimal par coup de 0,64 mm. En effet :

Emax / mm = 125 X 150 = 18 750 J / mm

Enfoncement minimal par coup = 12 000 J ÷ 18 750 J / mm = 0,64 mm

Lorsqu'il survient une augmentation abrupte de la résistance à l'enfoncement, le battage doit être arrêté. Cependant, si la profondeur atteinte est moindre que celle qui était prévue, le battage doit continuer avec une énergie moindre, de façon à pouvoir franchir l'obstacle sans endommager le pieu.

De plus, lorsque le pieu ne s'enfonce pas d'au moins la distance calculée afin de respecter l'énergie maximale de battage par millimètre d'enfoncement, il faut arrêter le battage afin de ne pas endommager le pieu. Bien que cette situation soit peu courante, le surveillant se doit alors de consulter le concepteur pour obtenir son avis.

3.5.1.3 Pieux caissons

Le pieu caisson est mis en œuvre par l'enfoncement d'un tube jusqu'au roc et l'excavation du sol à l'intérieur du tube; une fois le roc atteint, il y a forage de façon à constituer une emboîture. Une cage d'armature est ensuite insérée à l'intérieur du tube et de l'emboîture, lesquels sont par la suite remplis de béton.

En général, le pieu caisson a un diamètre allant de 1 000 mm à plus de 3 000 mm. Cependant, au cours des dernières années, de plus petits pieux caissons pouvant atteindre 406 mm (16 po) de diamètre ont fait leur apparition sur des chantiers du MTQ. La profondeur de l'emboîture varie en fonction de la nature du roc et de la capacité portante à obtenir. Les pieux caissons de grand diamètre (environ 1500 mm et plus) sont toujours foncés à la verticale.

Le pieu caisson est moins utilisé comparativement au pieu en acier tubulaire; il est donc moins connu. Sa mise en place requiert cependant plus de connaissances et plus de précautions.

Les joints doivent être réalisés avec des soudures bout à bout à pleine pénétration. Puisque ces soudures sont structurales, les exigences du chapitre 7 « Ouvrages en

acier et en aluminium » de ce manuel s'appliquent, notamment la vérification à 100 % par ultrasons effectuée par une entreprise reconnue de façon à assurer la qualité des soudures.

L'article 15.7.5.4 exige que les soudures des sections de tube soient réalisées par procédé de soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW) ou au fil fourré (FCAW ou MCAW). Dans ce dernier cas toutefois, un abri, installé au pourtour du pieu, doit être employé afin que le vent ne dissipe pas la protection gazeuse de la soudure. Plus de détails sur ces types de soudures sont donnés à la section 7.3 « Métal d'apport » de ce manuel.

En général, des plaques d'acier de renforcement, d'une hauteur d'environ 300 à 500 mm, sont soudées à la base du tube d'acier, sur sa partie externe, afin d'empêcher l'ovalisation ou la détérioration du tube lors de sa descente dans des sols plutôt denses et lors de son encastrement dans le roc. Des dents de forage sont également souvent utilisées à la base du tube d'acier pour faciliter l'encastrement de ce dernier dans le roc. Le cas échéant, les caractéristiques de ces éléments de renforcement doivent être montrées aux plans d'atelier, en incluant le détail des soudures prévues.

Une protection anticorrosion peut être nécessaire lorsque le tube d'acier est considérée dans le calcul structural des pieux ou, si ce n'est pas le cas, pour améliorer l'esthétisme de la partie apparente des pieux caissons. L'épaisseur du revêtement de métallisation est spécifiée en fonction des exigences énoncées au tableau 2.10-3 du chapitre 2, *Tome III – Ouvrages d'art, des normes du MTQ*. Le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur prévoit une marge de manœuvre suffisante sur la hauteur de métallisation afin que la profondeur d'encastrement du tube ne soit pas contrôlée par la position de la métallisation.

Il est exigé au CCDG que les travaux relatifs aux pieux caissons soient réalisés par une firme spécialisée dans l'enfoncement de tels pieux. De plus, il est aussi exigé qu'un ingénieur spécialisé en géotechnique, ayant une expérience d'au moins 5 années dans la mise en œuvre de pieux caissons, soit présent à la première réunion de chantier traitant des fondations sur pieux caissons et aux phases critiques suivantes pour chaque pieu : le début de l'enfoncement, lors de l'encastrement du tube au roc, la réalisation de l'emboîture et l'inspection de l'emboîture et de l'encastrement au roc. Ces exigences du CCDG sont nécessaires afin de s'assurer que l'entrepreneur a vraiment les connaissances requises pour mener à bien ces travaux spécialisés. Par contre, dans le cas où plusieurs pieux caissons font partie du même contrat et que la mise en place des premiers pieux caissons s'est bien déroulée, il est recommandé de ne pas exiger la présence au chantier de l'ingénieur spécialisé en géotechnique de l'entrepreneur pour les autres pieux caissons, sauf pour l'inspection de l'emboîture (le visionnement au bureau de l'inspection par caméra vidéo devrait suffire). Cette façon de faire est nécessaire compte tenu du faible nombre d'ingénieurs en géotechnique expérimentés disponibles sur le marché. Le surveillant se doit d'être vigilant et de prendre le temps qu'il faut pour évaluer les compétences des ressources de

l'entrepreneur; il doit de consulter au besoin le spécialiste en fondations du Ministère en cas de doute.

Enfoncement

Il faut d'abord vérifier la localisation du pieu caisson avant l'enfoncement; des repères devraient être mis en place à l'extérieur de la semelle particulièrement si le fond est détrempé et boueux. Il importe de bien situer le pieu caisson, de suivre par la suite ses déplacements lors de l'enfoncement et de contrôler sa position finale par rapport aux exigences du CCDG.

La position finale du pieu caisson est très importante pour assurer la stabilité de l'ouvrage. Pour la vérification de la localisation et de la verticalité du pieu caisson pendant tout le fonçage, l'installation de deux instruments d'arpentage, placés sur des axes perpendiculaires l'un par rapport à l'autre, est requise. Il faut également veiller à ce que ces instruments de mesure soient placés à une distance suffisante du pieu caisson pour qu'ils ne soient pas affectés par les vibrations induites par le fonçage.

L'entrepreneur doit soumettre au surveillant pour information la méthode qu'il entend utiliser pour contrôler la position et la verticalité du pieu caisson. Cette exigence du CCDG s'impose afin que toute déviation du pieu caisson soit rapidement détectée et que les correctifs requis soient apportés à temps.

Si le tube s'écarte de l'axe prévu, il faut chercher à le replacer ou à le redresser le plus près possible de la position prévue ou, à tout le moins, à l'intérieur des tolérances permises.

Le pieu caisson est enfoncé par battage, vibration ou oscillation. Lorsqu'il est enfoncé par battage, l'énergie nécessaire peut être inférieure à celle nécessaire pour les pieux tubulaires conventionnels battus puisque le sol à l'intérieur du tube est excavé au fur et à mesure de l'enfoncement du tube.

L'excavation à l'intérieur du tube se fait généralement au fur et à mesure de l'enfoncement du pieu caisson; il peut arriver que cette opération puisse se dérouler à la fin de l'enfoncement si le sol traversé est plutôt lâche. Si l'excavation se fait au fur et à mesure, il faut toujours que le tube précède l'excavation pour éviter de former des vides au pourtour du tube; cette précaution est nécessaire pour préserver la qualité de la retenue latérale et la résistance en friction du pieu caisson.

Si une surpression d'eau, par rapport au niveau de la nappe phréatique, est nécessaire pour empêcher les infiltrations lors de l'enfoncement d'un pieu caisson dans un sol de faible compacité, celle-ci doit être contrôlée et limitée à une hauteur de 1 m afin de ne pas créer un remaniement des sols au pourtour du tube d'acier.

Une fois le socle rocheux atteint, il faut s'assurer que le tube est bien scellé, c'est-à-dire encastré au roc sur tout son pourtour de manière à empêcher toute infiltration de sol ou éboulement de fragments de roc dans l'amorce de l'emboîture. Le scellement est généralement atteint dans le roc sain (ou de bonne qualité). Il est souvent spécifié aux

plans que l'encastrement du tube doit être de 300 mm au minimum dans le roc sain, mais le scellement pourrait être atteint avec un encastrement moindre ou dans un roc de moins bonne qualité. La hauteur d'encastrement peut être mesurée au moyen d'une pesée attachée au bout d'une corde. Quant au scellement, il doit être vérifié à l'aide d'une caméra. Afin de pouvoir l'observer clairement, il faut nettoyer, au besoin, tout le roc effrité qui se trouve au-dessus du niveau de la base du tube et utiliser un floculant, par exemple de l'alun pour rendre l'eau transparente.

S'il s'avérait difficile de sceller le tube d'acier dans le roc, l'entrepreneur pourrait choisir de bétonner la hauteur de forage déjà réalisée afin de colmater les ouvertures, puis de forer le béton. Ce forage devrait avoir un diamètre juste assez grand pour obtenir une paroi de roc, et non une paroi de béton. La préinjection de coulis à partir d'un forage de petit diamètre réalisé au centre de la future emboîture peut aussi être tentée par l'entrepreneur pour colmater le réseau de fissures ou de vides dans le massif de roc avant de débuter le forage et le scellement du tube. Dans ce cas, le surveillant doit questionner l'entrepreneur par rapport à la pression d'injection qu'il compte utiliser, car une pression trop élevée pourrait occasionner le claquage des sols situés au-dessus et en périphérie.

Le tube d'acier doit demeurer en place sur toute sa longueur; le Ministère n'accepte plus que le tube d'acier puisse être retiré peu de temps après le bétonnage car la colonne de béton peut se déformer au contact de sols de faible résistance. Cette façon de faire est encore pratiquée en Europe et ailleurs et elle permet à l'entrepreneur de réutiliser le même tube d'acier pour la mise en œuvre de plusieurs pieux caissons.

Suivi de l'enfoncement

Le suivi de l'enfoncement des pieux caissons doit être effectué autant par le surveillant que par l'entrepreneur. Ce suivi est très important puisqu'il permet de corriger rapidement toute anomalie concernant la localisation et la verticalité du pieu caisson; si les correctifs ne sont pas apportés rapidement, le problème s'amplifiera et rendra les correctifs de plus en plus complexes. S'il n'est pas possible de ramener le caisson à l'intérieur des tolérances du CCDG, le surveillant doit consulter le concepteur afin de modifier si possible l'ouvrage en fonction des écarts constatés.

Le surveillant doit soigneusement noter l'information relative à l'enfoncement sur le formulaire V-1877 - *Enfoncement d'un pieu caisson* (voir la figure 3.5-3). Il est recommandé de remplir une ligne du formulaire lorsque l'enfoncement depuis le dernier enregistrement atteint une valeur se situant entre 500 et 1 000 mm tout en conservant au minimum de deux enregistrements par jour. Il faut inscrire la date et l'heure de chaque enregistrement ainsi que l'enfoncement et l'excavation mesurés depuis l'enregistrement précédent. La déviation du pieu caisson selon les deux axes mentionnés sur le formulaire doit également être mesurée de façon précise et être notée. Le surveillant ne doit pas hésiter à suspendre les travaux s'il constate que la déviation du pieu caisson excède les tolérances du CCDG.

Inspection des sols autour du pieu caisson

Le surveillant doit s'assurer que les méthodes de travail de l'entrepreneur n'entraînent pas une baisse de la résistance latérale des sols autour du pieu caisson. Il doit donc s'assurer que l'entrepreneur effectue ses travaux correctement (le tube doit précéder l'excavation, le tube doit être bien scellé au roc [bon encastrement pour la stabilité du tube et pour prévenir les infiltrations de sédiments], la pression des équipements et du nettoyage ne provoquent pas une diminution de la résistance des sols environnants, etc.) et il doit demeurer vigilant sur l'évolution de la compacité des sols autour des pieux caissons lors des travaux. Toute perte de compaction des sols doit entraîner l'arrêt des travaux et une révision des méthodes de l'entrepreneur avant d'autoriser la reprise des travaux; le concepteur devrait participer à ce processus. Le fonçage peut créer, au pourtour immédiat du tube, un affaissement léger et uniforme du sol, sans que cela mette en péril la résistance latérale des sols. Toutefois, lorsque le surveillant juge qu'une perte de résistance latérale (affaissement localisé et non uniforme autour du tube, claquage des sols ou remaniement important des sols au pourtour) pourrait s'être produite lors de la mise en œuvre du pieu caisson, l'entrepreneur doit réaliser à ses frais des forages aux endroits potentiellement problématiques pour vérifier la compacité des sols pulvérulents ou la résistance au cisaillement des sols cohérents. L'entrepreneur doit alors présenter par écrit au surveillant, pour information, l'emplacement des forages et des essais envisagés sur ceux-ci. Le rapport de sondages doit être signé par un ingénieur membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec, et être remise au surveillant au moins 48 heures avant qu'il procède au bétonnage du pieu caisson. Si les forages montrent que les sols sont trop perturbés par rapport à leur état initial et n'offrent plus, selon le surveillant, la résistance latérale requise, l'entrepreneur doit alors présenter par écrit au surveillant les travaux de densification des sols qu'il se propose de faire pour corriger la situation; ces travaux sont exécutés à ses frais. Une fois ces travaux terminés, l'entrepreneur doit alors remettre au surveillant un rapport préparé et signé par un ingénieur en géotechnique, membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec. Ce rapport doit décrire les travaux réalisés et attester que la résistance latérale des sols est adéquate. Il doit être remis au surveillant au moins 48 heures avant que le bétonnage du pieu caisson soit réalisé.

Emboîture

Comme à l'étape de l'enfoncement du tube, le suivi du forage de l'emboîture doit être effectué autant par le surveillant que par l'entrepreneur. L'emboîture est un forage effectué dans le roc sous le niveau du tube du pieu caisson afin d'ancrer adéquatement ce dernier et de procurer les résistances géotechniques requises par le concepteur. Le sommet et la longueur de l'emboîture sont indiqués dans les plans et devis. La longueur est habituellement de quelques mètres dans le roc sain. Si le roc en place est de mauvaise qualité sur une grande épaisseur, le concepteur aura prévu une emboîture de plus grande dimension. L'emboîture peut être réalisée au moyen de trépans, de marteaux « fond de trou » et de foreuses à grand diamètre. Lorsqu'un trépan ou un marteau « fond de trou » est utilisé, les débris de roc sont généralement retirés du tube

ou de l'emboîture au moyen d'une excavatrice à clapet. Si les débris de roc sont suffisamment concassés dans le fond de l'emboîture, un tube récupérateur rotatif à grand diamètre peut être utilisé pour les extraire.

L'entrepreneur doit présenter au surveillant son programme de travail pour la réalisation des emboîtures au moins 14 jours avant leur exécution.

L'emboîture est réalisée une fois que le tube d'acier est bien scellé sur tout son pourtour dans le roc.

La profondeur de l'emboîture peut être mesurée au moyen d'une chaîne et d'une pesée suffisamment lourde pour pouvoir faire la différence entre le plancher de roc du fond de l'emboîture et les dépôts de sédiments accumulés au fond.

Forage de contrôle

Lorsque cela est demandé au devis spécial, l'entrepreneur doit réaliser, pour chaque pieu caisson désigné, un forage de contrôle de calibre N qui vise à qualifier le roc sur une longueur minimale de 3 m sous le plancher de l'emboîture, sans toutefois être inférieure au double du diamètre du tube du pieu caisson. Ce forage de contrôle doit, autant que possible, être réalisé avant la mise en œuvre du pieu caisson, car il permet alors de préciser, directement au droit du pieu : l'élévation de la surface du rocher, l'élévation du contact entre le roc fracturé et le roc sain (le cas échéant) et les caractéristiques (i.e. nature, récupération, RQD, résistance en compression simple, etc.) de ces deux horizons de roc. Ainsi, on pourra mieux prévoir l'encastrement du tube qui sera nécessaire pour obtenir son scellement dans le roc et la longueur totale de forage nécessaire pour obtenir la longueur d'emboîture demandée, entre autres.

Lorsque le forage est effectué après la réalisation du pieu caisson, un calibre NQ3 doit être utilisé et un dispositif antivibration doit être installé dans ce dernier pour fixer le train de tiges de forage et ainsi obtenir des carottes de roc intactes.

Ce forage est réalisé par une entreprise spécialisée en forage et supervisé en permanence sur les lieux par un laboratoire enregistré engagé par l'entrepreneur. La description qualitative du roc (RQD) et les essais de compression sur les carottes prélevées sont effectués par ce laboratoire. Le surveillant doit veiller à ce que ce forage atteigne bien la profondeur spécifiée. Une fois le forage terminé, les travaux reliés à la réalisation de ce pieu caisson sont suspendus jusqu'à ce que le surveillant remette à l'entrepreneur un avis écrit l'autorisant à poursuivre les travaux, l'avis du surveillant est délivré dans un délai maximal de 5 jours à la suite de la remise du rapport du laboratoire au surveillant. En cas de doute sur la qualité du roc, le surveillant doit consulter le spécialiste en fondations du Ministère. Un roc très fracturé dans la zone de l'emboîture pourrait être problématique lors du bétonnage du pieu. En effet, il arrive qu'une perte de béton importante survienne à travers les fractures, pouvant même, dans certaines conditions particulières, atteindre l'emboîture ouverte d'un pieu adjacent. De concert avec le concepteur et le géotechnicien, l'entrepreneur doit prévoir et prévenir une telle situation.

Dans le cas d'une fondation qui reposera sur de nombreux pieux caissons de petit diamètre, (soit < 762 mm, ou 30 po), le nombre de forages de contrôle peut être réduit à 20 % du nombre de pieux caissons de cette unité choisis par le surveillant ou selon le choix du concepteur imposé dans les plans et devis.

Enfin, l'entrepreneur doit mettre à jour ses plans d'atelier en fonction des informations tirées des forages de contrôle des emboîtures.

Inspection par caméra vidéo

Avant la mise en place de la cage d'armature et le bétonnage, une inspection par caméra vidéo doit être réalisée par une entreprise spécialisée dans ce domaine afin de vérifier la qualité du roc, de l'encastrement du tube d'acier et du nettoyage final de l'emboîture. En plus des normes énoncées à la section 15.3.5.1.3 du CCDG, les exigences suivantes s'appliquent à l'inspection par caméra vidéo jusqu'au fond de l'emboîture des pieux caissons :

- chaque enregistrement doit être réalisé avec une caméra possédant un pivot permettant de visualiser la paroi selon un angle droit et l'observation du fond de l'emboîture selon une vue en plan;
- l'éclairage doit être assez puissant pour permettre d'observer les couleurs, les textures et tout autre aspect particulier à l'intérieur du pieu caisson;
- la description, par l'ingénieur en géotechnique affecté aux travaux par l'entrepreneur, de la base du tube d'acier et de la zone d'encastrement (qualité du contact, infiltration, déformation du tube, déchirure, bris hors profil du roc, etc.);
- la description, par ce même ingénieur, des parois de l'emboîture (qualité, texture, nature, bris hors profil, etc.);
- la description, par ce même ingénieur, du fond de l'emboîture (qualité, nature, texture, débris de roc ou de sédiments);
- l'enregistrement doit contenir une piste sonore qui décrit l'inspection tout en spécifiant fréquemment l'orientation de la caméra par rapport au nord ou un point de repère sur le dessus du pieu caisson, selon la convention en azimut 360° ou 12 heures (approximativement).

Si la visibilité est réduite en raison d'une trop grande concentration de particules fines en suspension, un floculant tel l'alun peut être utilisé pour clarifier l'eau; l'accumulation des floculats peut nécessiter un dernier nettoyage avant l'inspection par caméra;

S'il existe un écoulement de l'eau vers l'intérieur du pieu caisson dû à une pression artésienne empêchant de diminuer la turbidité de l'eau, le CCDG exige d'ajouter une section de tube suffisamment longue au-dessus du pieu caisson pour augmenter le niveau de l'eau dans le tube au-dessus du niveau statique afin de permettre le nettoyage. Ce nettoyage se fait par ajout suffisant d'eau claire au fond du pieu caisson.

Dans le cas d'une fondation qui reposera sur de nombreux pieux caissons de petit diamètre, (soit < 762 mm, ou 30 po), le nombre d'inspections par caméra peut être réduit à 20 % du nombre de pieux caissons de cette unité choisis par le surveillant ou selon le choix du concepteur imposé dans les plans et devis.

Nettoyage de l'emboîture

Le nettoyage de l'emboîture s'effectue habituellement à l'aide d'un mécanisme à succion qui permet d'éliminer l'eau et les dépôts au fond du tube. Cependant, il n'est pas souvent possible d'éliminer l'eau du pieu caisson, puisque de nombreux pieux caissons ne sont pas étanches. Il faut par contre poursuivre le nettoyage jusqu'à ce que l'eau retirée du tube soit claire. Le surveillant doit alors veiller à ce que l'excavation de l'emboîture soit terminée, c'est-à-dire que le diamètre de l'emboîture est presqu'égal à celui du caisson sur toute la hauteur de l'emboîture, à moins d'indications contraires sur les plans et devis. Il doit aussi s'assurer que le roc en place n'est pas fracturé et qu'il présente une surface rugueuse et nette, exempte de débris de roc, cailloux, gravier ou terre. Dans le cas d'un roc schisteux, ce dernier doit être nettoyé de toute partie lâche. Si le roc est fracturé, le surveillant doit consulter le concepteur et le spécialiste en fondations du Ministère afin de vérifier si le roc a bien la capacité prévue lors de la préparation des plans et devis.

Une fois l'emboîture terminée et le forage de contrôle jugé satisfaisant (lorsque celui-ci est requis), un dernier nettoyage peut être exigé de la part du surveillant si l'inspection par caméra montre encore des sédiments, des fragments de roc ou des débris dans le pieu caisson. L'objectif est d'obtenir un fond d'emboîture exempt de tout débris. L'inspection du pieu caisson doit être officialisée à l'aide du formulaire 319.1 « Contrôle de la qualité d'un pieu caisson » (présenté à la figure 3.5-3) signé par l'ingénieur en géotechnique mandaté par l'entrepreneur.

Arasement

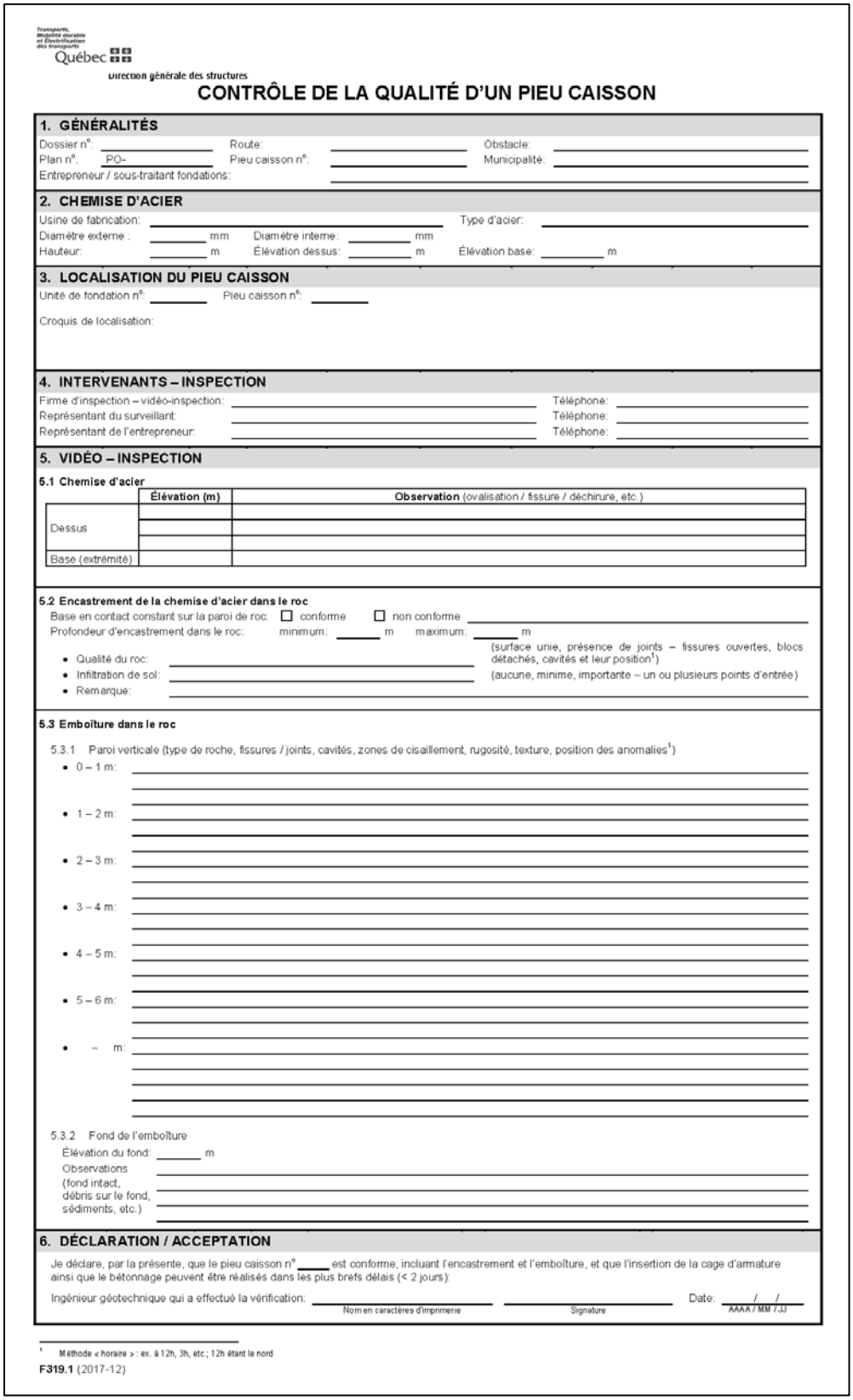
Avant de procéder à l'arasement du pieu caisson, l'entrepreneur doit fournir au surveillant un rapport d'enfoncement et d'inspection signé par un ingénieur spécialisé en géotechnique, normalement le même ingénieur qui était présent aux phases critiques des travaux. Ce rapport doit décrire les travaux réalisés et indiquer que ces derniers sont conformes aux exigences contractuelles. Le rapport doit inclure les enregistrements vidéo (sous format numérique) de l'inspection pour qu'ils puissent être eux aussi déposés au dossier de la structure.

Une fois que le surveillant se déclare satisfait du rapport remis et après avoir reçu l'acceptation écrite du rapport d'inspection par caméra de la part du concepteur, il autorise par écrit l'entrepreneur à procéder à l'arasement du pieu caisson.

Armature

Avant d'insérer les cages d'armature dans le pieu caisson, le surveillant doit refaire une vérification de la hauteur du pieu caisson, incluant l'emboîture, afin de s'assurer qu'il n'y a pas eu d'accumulation de débris au fond du pieu caisson depuis le nettoyage. La différence de hauteur mesurée ne doit pas excéder 50 mm, sinon un nettoyage supplémentaire est exigé. Le surveillant mesure aussi la longueur des cages afin de s'assurer qu'elles correspondent bien à la profondeur du fond de l'emboîture et que les longueurs de chevauchement sont respectées. Il doit finalement vérifier, par la même occasion, la rigidité des cages d'armature ainsi que la présence des cales de plastique avec patin de glissement assurant la distance prévue entre les armatures et la paroi du tube comme cela est demandé au chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel.

Rappelons que ces cales doivent être placées selon un espacement maximal de 1,2 m autant verticalement qu'horizontalement. Tout juste avant d'autoriser l'insertion de chaque cage à l'intérieur du pieu caisson et lorsque celle-ci est à la verticale, le surveillant vérifie que la cage est bien verticale et libre de toute déformation.



Transports, Mobilité durable et Électrification des transports
Québec

Direction générale des structures

CONTRÔLE DE LA QUALITÉ D'UN PIEU CAISSON

1. GÉNÉRALITÉS

Dossier n°: _____ Route: _____ Obstacle: _____
Plan n°: PO- _____ Pieu caisson n°: _____ Municipalité: _____
Entrepreneur / sous-traitant fondations: _____

2. CHEMISE D'ACIER

Usine de fabrication: _____ Type d'acier: _____
Diamètre externe : _____ mm Diamètre interne: _____ mm
Hauteur: _____ m Élévation dessus: _____ m Élévation base: _____ m

3. LOCALISATION DU PIEU CAISSON

Unité de fondation n°: _____ Pieu caisson n°: _____

Croquis de localisation:

4. INTERVENANTS – INSPECTION

Firme d'inspection – vidéo-inspection: _____ Téléphone: _____
Représentant du surveillant: _____ Téléphone: _____
Représentant de l'entrepreneur: _____ Téléphone: _____

5. VIDÉO – INSPECTION

5.1 Chemise d'acier

	Élévation (m)	**Observation** (ovalisation / fissure / déchirure, etc.)
Dessus		
Base (extrémité)		

5.2 Encastrement de la chemise d'acier dans le roc

Base en contact constant sur la paroi de roc: ☐ conforme ☐ non conforme _____
Profondeur d'encastrement dans le roc: minimum: _____ m maximum: _____ m

- Qualité du roc: _____ (surface unie, présence de joints – fissures ouvertes, blocs détachés, cavités et leur position[1])
- Infiltration de sol: _____ (aucune, minime, importante – un ou plusieurs points d'entrée)
- Remarque: _____

5.3 Emboîture dans le roc

5.3.1 Paroi verticale (type de roche, fissures / joints, cavités, zones de cisaillement, rugosité, texture, position des anomalies[1])

- 0 – 1 m: _____
- 1 – 2 m: _____
- 2 – 3 m: _____
- 3 – 4 m: _____
- 4 – 5 m: _____
- 5 – 6 m: _____
- – m: _____

5.3.2 Fond de l'emboîture

Élévation du fond: _____ m
Observations (fond intact, débris sur le fond, sédiments, etc.) _____

6. DÉCLARATION / ACCEPTATION

Je déclare, par la présente, que le pieu caisson n° _____ est conforme, incluant l'encastrement et l'emboîture, et que l'insertion de la cage d'armature ainsi que le bétonnage peuvent être réalisés dans les plus brefs délais (< 2 jours):

Ingénieur géotechnique qui a effectué la vérification: _____ (Nom en caractères d'imprimerie) _____ (Signature) Date: ____/____/____ (AAAA / MM / JJ)

[1] Méthode < horaire > : ex. à 12h, 3h, etc.; 12h étant le nord

F319.1 (2017-12)

Figure 3.5-3 Formulaire 319.1 « Contrôle de la qualité d'un pieu caisson »

Bétonnage

Avant le bétonnage du pieu caisson, le surveillant doit également consulter le concepteur pour obtenir des directives particulières sur la façon de réaliser un joint de construction non prévu dans les plans en cas de problème lors du bétonnage. Il est important de noter qu'il faut éviter de réaliser un joint de construction dans l'emboîture et sur une certaine distance au-dessus de celle-ci pour ne pas affaiblir cette partie du pieu caisson.

Lorsque l'emboîture peut être asséchée, un béton autoplaçant de construction (type IXV-C) peut être utilisé sur toute la hauteur du pieu caisson. Lorsqu'il est impossible d'assécher l'emboîture, le béton de type XV (antilessivage), conformément aux articles 15.3.3 et 15.4.3.9 du CCDG, doit être mis en place selon les exigences relatives au bétonnage sous l'eau du chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel, notamment en ce qui a trait aux exigences du bétonnage sous l'eau. Il faut s'assurer que la conduite de bétonnage soit au fond de l'emboîture, ou au plus quelques centimètres au-dessus, au début du bétonnage. Par la suite, l'extrémité inférieure de cette conduite doit toujours être immergée dans le béton avec une profondeur constante d'environ 2 m lors de la remontée de la conduite. Une fois l'eau et la laitance complètement évacuées, la partie supérieure (2 m) du pieu caisson doit être vibrée afin de bien consolider le béton. Même si la vibration est généralement contre-indiquée pour le béton de type XV, il est tout de même recommandé de vibrer le minimum requis afin de placer le béton autour des barres d'armature de la cage et d'éliminer tout vide qui pourrait demeurer logé dans les deux mètres supérieurs du pieu.

Il est généralement assez facile de constater le moment où toute laitance est évacuée lors du bétonnage, car la couleur du matériel change et sa consistance varie. Lorsque le matériel expulsé du tube a la même couleur que le béton et une consistance uniforme, après un délai d'environ une minute, le bétonnage peut généralement être arrêté et l'entrepreneur peut alors procéder avec la vibration de la partie supérieure.

Si le surveillant conserve des doutes quant à l'évacuation complète de la laitance, il est toujours possible de demander au laboratoire de procéder à un essai de mesure de la masse volumique du béton frais avec le bol de l'air-mètre.

Mentionnons que la vibration de la partie inférieure du pieu n'est pas jugée nécessaire car la tête de pression créée par le béton frais est généralement suffisante pour pousser le béton au travers de la cage d'armature et ainsi remplir tous les vides.

Lorsque des anomalies sont constatées par le surveillant lors du bétonnage ou de la cure du béton qui peuvent laisser croire à un problème de consolidation du béton, le surveillant doit exiger de l'entrepreneur un plan de forage du béton en place sur la pleine hauteur du pieu caisson afin d'y déceler tout défaut potentiel. Le rapport de sondages doit être signé par un ingénieur, membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec, et être remis au surveillant au moins 48 heures avant de continuer les travaux. Si les sondages montrent que le béton en place présente des défauts, l'entrepreneur doit fournir par écrit au surveillant la méthode de travail, signée par un ingénieur

spécialiste en béton, membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec, qu'il se propose d'utiliser pour y remédier. Les travaux de correction ne devraient débuter qu'une fois que le surveillant a remis à l'entrepreneur un avis écrit l'autorisant à procéder à ces travaux. Cette façon de faire est conforme aux exigences de l'article 7.10 « Travaux défectueux » du CCDG.

Essais Crosshole Sonic Integrity Logging (CSL)

Des essais d'auscultation sonique (CSL) sont généralement exigés dans les pieux caissons des ponts essentiels dont l'unité de fondation est appuyée exclusivement sur des pieux caissons, pour une pile de type monocaisson (un seul caisson fixé à un chevêtre) reprenant des charges de glace ou de séisme et pour des semelles de murs appuyées exclusivement sur des pieux caissons et supportant les remblais d'approche aux abords des ponts de secours.

Les essais d'auscultation sonique visent à confirmer la qualité du bétonnage dans les pieux caissons au moyen de tubes métalliques placés au préalable à l'intérieur de la cage d'armature et par la suite injectés après l'essai. Lorsqu'une non-conformité est décelée à l'essai, le surveillant doit consulter le concepteur.

Le responsable des essais CSL doit être un ingénieur membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec possédant au moins trois années d'expérience dans le domaine des essais de ce type; cet ingénieur ne doit pas avoir de lien d'emploi avec l'entrepreneur.

L'essai d'auscultation sonique « crosshole sonic logging » (CSL), lorsque requis, est exigé au devis spécial. Le devis spécial exige cependant aussi d'installer les tubes d'auscultation verticaux sur tous les pieux caissons qui ont un mètre et plus de diamètre, sans qu'un essai d'auscultation sonique soit spécifiquement exigé sur ces pieux. Cette exigence du devis spécial vise à laisser la possibilité d'effectuer un tel essai en cas de doutes sur la qualité de la mise en œuvre. Mentionnons toutefois que l'essai CSL n'est alors pas prévu au contrat et que les frais qui en découlent doivent être assumés par le Ministère. Le surveillant doit donc dans ces cas discuter de la possibilité de faire un essai CSL avec le responsable de la direction générale territoriale (DGT) et le concepteur.

Pour chaque pieu caisson ciblé dans le devis pour la réalisation d'un essai CSL, et pour les pieux caissons dont le diamètre est supérieur à 762 mm (30 po), mais inférieur à 1829 mm (72 po), l'entrepreneur doit installer sur la cage d'armature au moins quatre (4) tubes d'auscultation verticaux (parallèles les uns par rapport aux autres) et équidistants sur le périmètre. Dans le cas des pieux ayant un diamètre supérieur ou égal à 1829 mm (72 po), mais inférieur à 2438 mm (96 po), un minimum de six (6) tubes doit être installé, tandis que pour les pieux ayant un diamètre supérieur ou égal à 2438 mm (96 po), un minimum de huit (8) tubes doit être installé.

Les tubes doivent être remplis d'eau avant la mise en place du béton dans les pieux. Les dessus et les dessous des tubes doivent être protégés avec un bouchon étanche pour empêcher l'intrusion de béton dans ces derniers.

Une période minimale de trois jours doit s'écouler entre la fin du bétonnage d'un pieu et le début de l'essai. Les essais doivent être effectués par une firme spécialisée en contrôle de la qualité du béton sous la supervision du responsable des essais CSL. À moins d'indications contraires, les essais doivent être réalisés selon la méthode décrite dans la norme ASTM D6760 « Standard test method for integtity testing of concrete deep foundations by *Ultrasonic crosshole testing* ».

Lorsque les essais CSL sont terminés, ou sur remise d'un avis écrit du surveillant dans le cas où des tubes ont été installés sans qu'un essai soit exigé, un coulis cimentaire correspondant à la norme 3901 « Coulis cimentaires » du Ministère doit être injecté dans les tubes à partir de leur base.

Dans le cas d'une fondation qui reposera sur de nombreux pieux caissons de diamètre inférieur à 762 mm, ou 30po, l'essai CSL ne peut être réalisé faute d'espace pour une bonne insertion de la conduite de bétonnage dans la cage d'armature. Dans le cas de ces petits pieux caissons, des essais dynamiques peuvent être prévus au devis pour vérifier leur résistance géotechnique.



Transports, Mobilité durable et Électrification des transports
Québec

Enfoncement d'un pieu caisson

Informations générales

N° de dossier	N° d'unité de fondation	N° de pieu (s'il y a lieu)	Entrepreneur

N° de plan	Période des travaux	Sous-traitant
PO-		

Pieu

Diamètre du tube _____ mm
Épaisseur de la paroi _____ mm
Élévation de la base du tube _____ m
Élévation d'arasement _____ m
Élévation du roc _____ m
Profondeur d'encastrement dans le roc :
Min. mm Max. mm
Longueur après arasement incluant emboîture _____ mm
Longueur de l'emboîture _____ mm

Enfoncement

Date (Année-Mois-Jour)	Heure	Enfoncement additionnel (mm)	Excavation additionnelle (mm)	Déviation et écart du pieu parallèlement au pont		Déviation et écart du pieu perpendiculairement au pont	
				Déviation (%)	Écart (mm)	Déviation (%)	Écart (mm)

1. Calculée par rapport à la position finale de la tête du pieu.

Croquis de localisation du pieu

Date (Année-Mois-Jour) _____ Nom en caractères d'imprimerie _____ Signature _____

Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports

V-1877 (2016-06)

Figure 3.5-4 Formulaire V-1877 « Enfoncement d'un pieu caisson »

3.5.2 Résistance géotechnique

La résistance géotechnique des pieux battus, travaillant en friction ou en pointe, est déterminée par des essais dynamiques, de traction ou de chargement statique. La résistance géotechnique ultime est définie comme étant la capacité des sols environnant le pieu à résister à la charge d'essai. La charge d'essai correspond à la charge de conception à l'état limite ultime (ELUL) divisée par le coefficient de tenue géotechnique et le coefficient de conséquence prescrits à la norme CAN/CSA-S6. Le surveillant doit consulter le concepteur si les charges d'essais n'apparaissent pas aux plans.

L'entrepreneur doit obligatoirement utiliser les essais demandés dans les plans et devis pour déterminer la résistance géotechnique. Il ne peut pas se servir du critère de refus utilisé lors du suivi de l'enfoncement des pieux. Ce critère ne sert qu'à s'assurer que tous les pieux ont sensiblement la même résistance géotechnique, mais il ne peut remplacer les essais qui détermineront si les résistances géotechniques requises par le concepteur sont vraiment atteintes sur le terrain.

Les essais que doit réaliser l'entrepreneur sont spécifiés dans les plans et devis par le concepteur selon le type de charge appliqué sur les pieux et la nature des sols en place. L'essai dynamique est exigé par le concepteur dans la plupart des cas à cause de son coût moins élevé et de sa rapidité d'exécution. Pour les pieux travaillant en traction, l'essai de traction doit être effectué en plus de l'essai dynamique ou de chargement.

Le surveillant fait suspendre, pour la durée de l'essai, tout travail susceptible de causer des vibrations dans le sol environnant le pieu d'essai, notamment le battage de pieux appartenant à la même unité de fondation que le pieu d'essai.

Une fois les essais terminés et si la résistance géotechnique est insuffisante, il faut poursuivre l'enfoncement des pieux et recommencer les essais. S'il s'avère impossible d'atteindre la résistance géotechnique exigée, le surveillant doit consulter le concepteur.

<u>Choix des pieux d'essai</u>

Les essais ne sont pas réalisés sur tous les pieux à cause des coûts qui leur sont associés et aussi du fait qu'il n'est pas nécessaire de tester chaque pieu pour s'assurer de l'atteinte de la résistance géotechnique. Le nombre de pieux d'essai d'un groupe de pieux spécifique est mentionné dans les plans et devis; il est de l'ordre de trois pieux d'essai par unité de fondation lorsque la résistance géotechnique est déterminée au moyen d'essais dynamiques alors qu'il est d'un pieu d'essai par unité de fondation lorsque la résistance est déterminée au moyen d'un essai de chargement statique.

L'essai de chargement statique est généralement fait sur des pieux enfoncés à la verticale, car il est très difficile de réaliser ce type d'essai sur des pieux inclinés.

Les pieux d'essai doivent être choisis parmi ceux pour lesquels le surveillant a rempli le formulaire V-1876 « Journal de fonçage d'un pieu battu ou vibrofoncé ». Cette

précaution est nécessaire pour s'assurer d'avoir le plus d'information possible sur le battage si les essais démontrent que la résistance géotechnique n'est pas conforme.

La partie déformée du dessus des pieux doit être enlevée avant de procéder aux essais. La tête du pieu doit être parfaitement perpendiculaire à l'axe du pieu afin que la charge d'essai soit appliquée selon cet axe.

Le choix des pieux d'essai revient exclusivement au surveillant, sauf si l'entrepreneur décide, comme c'est souvent le cas, de tester l'un des premiers pieux foncés avant de procéder au battage des autres pieux. Ce premier test permet à l'entrepreneur d'avoir une meilleure idée, dès le début des travaux d'enfoncement, de la valeur du critère de refus; le choix des autres pieux d'essai revient cependant au surveillant. Par contre, lors de la réalisation d'essais dynamiques, le surveillant devrait établir ce choix en collaboration avec le représentant de l'entreprise spécialisée mandatée par l'entrepreneur pour faire les essais.

Il est important de mentionner que le Ministère ne paie pas les essais de chargement statique ou en traction réalisés avant la fin de la mise en place de tous les pieux d'une unité et qu'il ne tient pas compte de leurs résultats. En effet, il serait pour le moins téméraire pour le Ministère de réaliser les essais avant la mise en place de tous les pieux puisque ceux-ci constituent un incitatif puissant à ce que l'entrepreneur réalise des travaux conformes aux exigences. Cependant, dans le cas des essais dynamiques et comme le mentionne le CCDG, l'un de ces essais peut être réalisé et payé après qu'au moins la moitié des pieux prévus à une unité ont été mis en place. Par ailleurs, le devis spécial peut permettre la réalisation de deux essais dynamiques dès la mise en place des premiers pieux si la pointe des pieux atteint le refus sur une couche de sol compétent.

Sols argileux

Lorsque des pieux traversent un dépôt de sols argileux et que leur pointe s'appuie fermement plus en profondeur sur le roc ou sur un horizon de compacité très dense, la consolidation du dépôt d'argile sous le poids des remblais routiers peut occasionner une « friction négative » sur ces pieux. Cette « friction négative » est produite par un effort qui s'exerce sur la paroi externe des pieux et elle est dirigée vers le bas sous l'action des sols argileux qui se consolident et se tassent alors que le pieu ne peut se soustraire à cet effort. Cette friction négative doit être considérée dans la note de calcul et doit être combinée aux charges permanentes seulement.

Le battage de pieux engendre des surpressions interstitielles dans l'argile. Ces surpressions, ainsi que le remaniement de l'argile à l'interface du pieu, ont pour effet de réduire la résistance géotechnique des pieux. Par contre, les surpressions d'eau sont temporaires et se dissipent après quelques semaines (3 à 4) pour un pieu isolé, et jusqu'à quelques mois pour un groupe de pieux sous une unité de fondation. L'entrepreneur a alors avantage à attendre la dissipation des surpressions avant de procéder aux essais; le délai d'attente est parfois précisé dans le devis spécial. Par contre, certains entrepreneurs préfèrent allonger les pieux ou en ajouter pour atteindre

la résistance géotechnique spécifiée, évitant ainsi des délais d'attente. Les coûts associés à cette décision de l'entrepreneur sont entièrement à sa charge, puisque le Ministère n'en retire aucun bénéfice. Le surveillant doit par contre consulter le concepteur avant d'approuver ce changement à cause des conséquences possibles sur l'ouvrage.

Lorsque les pointes des pieux sont situées dans le dépôt argileux, c'est-à-dire qu'ils ne reposent pas sur un horizon de sol très dense ou sur le roc, il s'agit alors de pieux « flottants ». L'entrepreneur devrait alors utiliser, en accord avec le devis spécial, des pieux témoins mis en place en dehors de l'ouvrage à construire. Ces essais peuvent remplacer ceux à faire sur les pieux de l'ouvrage. Il arrive parfois qu'un entrepreneur demande d'utiliser des pieux foncés dans une unité de fondation en guise de pieux témoins. Le surveillant doit refuser cette demande en spécifiant que les pieux témoins doivent être foncés le plus tôt possible en début de chantier puisqu'ils servent à mieux définir la longueur nécessaire des pieux de l'unité de fondation. Comme ces pieux développeront une résistance géotechnique principalement en friction et dans un sol cohérent, un délai d'attente de plusieurs semaines est nécessaire entre l'enfoncement des pieux et l'essai permettant de déterminer la résistance géotechnique.

Il est important de retenir que les semelles de l'ouvrage ne doivent pas être bétonnées tant et aussi longtemps que les résultats des essais de résistance géotechnique sur les pieux d'essai ne sont pas conformes. Le fonçage des pieux de l'ouvrage à construire doit être réalisé de façon à obtenir la même longueur que celle déterminée sur les pieux témoins.

Les pieux témoins sont mis en place à une distance de 10 à 30 m des pieux de l'ouvrage à une position qui ne doit pas nuire aux autres ouvrages à construire. Les pieux témoins doivent être mis en place selon la même méthode d'enfoncement et aux mêmes élévations que celles spécifiées pour les pieux de l'ouvrage, en dégageant, si nécessaire, le sol ou en utilisant un chemisage à la partie supérieure pour éliminer l'interaction sol-pieu. Sous réserve de l'avis signé par un ingénieur spécialisé en géotechnique, le dégagement de la partie supérieur des pieux peut être remplacé par une soustraction de l'effet de la friction du sol à la partie supérieure du pieu témoin. Pour chacun des pieux témoins, un essai dynamique doit être réalisé; ces essais doivent être faits après avoir reçu un avis écrit du surveillant, soit après une dissipation minimale de 90 % des surpressions générées au battage. Ces dernières doivent être suivies (avant fonçage et deux à trois fois par semaine pendant la dissipation) à l'aide de deux piézomètres pneumatiques installés, pour chaque pieu témoin, au moins sept jours avant leur enfoncement. Les piézomètres devront être situés à environ un mètre de chaque pieu témoin et placés en profondeur vis-à-vis des premier et deuxième tiers de la longueur enfoncée des pieux témoins ou selon les instructions particulières de l'étude géotechnique. Si un ou des pieux témoins sont inclinés, la position des piézomètres doit être ajustée selon les conditions mentionnées précédemment. Pour un des pieux témoins, une analyse CAPWAP est également effectuée. Les pieux d'essai sont payés selon les exigences de l'article 15.3.6.2 du CCDG; le prix couvre également l'analyse CAPWAP.

3.5.2.1 Essais dynamiques

Les essais dynamiques consistent à mesurer la résistance géotechnique des pieux à supporter la charge d'essai en soumettant chaque pieu d'essai à un certain nombre de coups de marteau; l'accélération et la déformation des pieux à la tête sont enregistrées à chaque coup de marteau. De plus, l'essai sert à déterminer les contraintes et l'intégrité du pieu lors du battage; il peut localiser les couches de sol capables de développer la résistance géotechnique du pieu et permet de confirmer le critère de refus au chantier lors du battage en fonction de la résistance géotechnique à obtenir. Ces essais doivent atteindre la charge indiquée aux plans.

Mentionnons que le nombre de coups de marteau est très limité lors de l'essai. Pour un sol argileux, il est même question d'un seul, en raison du remaniement du sol causé par les coups de marteau. En effet, le deuxième coup de marteau n'est plus significatif de la résistance géotechnique.

L'essai dynamique exige beaucoup de minutie et il est réalisé au moyen d'équipements sophistiqués opérés par des spécialistes dans le domaine. Il est donc exigé au CCDG que l'essai soit réalisé par une firme géotechnique spécialisée en essais sur pieux mandatée par l'entrepreneur. Les coordonnées de la firme devraient être transmises au surveillant suffisamment à l'avance pour que ce dernier puisse vérifier auprès du concepteur que la firme est vraiment en mesure d'effectuer ce type d'essai. Bien que cet essai soit beaucoup moins exigeant pour le surveillant que les autres essais, ce dernier se doit tout de même d'être présent au chantier pour veiller au déroulement adéquat de l'essai.

<u>Matériel et procédure d'essai</u>

L'équipement servant à l'analyse du battage des pieux comprend un appareil d'analyse dynamique du battage des pieux, appelé « analyseur de battage », qui permet d'observer directement la forme de l'onde de choc. L'analyseur est relié par câble à des capteurs fixés au pieu afin de mesurer l'accélération et la déformation de celui-ci. Les signaux provenant des capteurs sont réunis à une boîte de jonction placée près de la tête du pieu d'où ils sont transmis à l'analyseur au moyen d'un câble.

La procédure d'essai à utiliser est tirée de la norme ASTM D4945.

L'essai dynamique s'appuie sur la théorie de propagation des ondes et sur l'application de cette théorie au battage des pieux. Le traitement des données peut être fait à l'aide de différents programmes informatiques s'appliquant à l'équation d'onde; le choix du programme est laissé à la firme spécialisée. Lorsque cela est demandé dans le devis spécial, l'essai est complété par une analyse appelée « CAPWAP », laquelle permet de modéliser le pieu sur toute sa longueur et de préciser ainsi davantage sa résistance géotechnique et de distinguer la portion friction de la portion pointe.

Les caractéristiques du pieu, notamment sa masse, sa longueur, son module d'élasticité, sa vitesse de transmission de l'onde et certains autres facteurs se

rapportant aux capteurs et au type de sol rencontré à la pointe du pieu, doivent d'abord être déterminées et inscrites dans le logiciel d'analyse afin de traiter l'information recueillie lors du battage.

L'analyseur contrôle l'efficacité de l'équipement en comparant l'énergie mesurée du marteau à celle des spécifications du fabricant et analyse les différents paramètres de fonctionnement tels la variation de la hauteur de chute, les propriétés du coussin et du casque de battage, les différents carburants utilisés ainsi que les variations de temps et de température.

L'essai dynamique sur des pieux tubulaires en acier remplis de béton est particulier. Deux options sont possibles. Sans entrer dans les détails, précisons que la première consiste à réaliser l'essai sur le tube seul, ce qui a comme désavantage de faire augmenter la section du tube afin qu'il ait une résistance structurale suffisante pour reprendre, à lui seul, toute la charge d'essai. Une autre consiste à réaliser l'essai directement sur les pieux bétonnés. L'inconvénient principal de cette technique est qu'en cas de non-conformité, il est impossible d'augmenter la résistance géotechnique par enfoncement additionnel des pieux sans les endommager. Il faut alors prévoir l'ajout de pieux supplémentaires, le tout en accord avec le concepteur. Le choix de la technique devrait être discuté avec le concepteur et le représentant de la firme mandatée pour réaliser l'essai.

Résultats des essais

Les résultats des essais sont considérés comme acceptables lorsque la résistance géotechnique ultime est supérieure à la charge d'essai.

L'interprétation des résultats du logiciel d'analyse dynamique doit être faite par une personne compétente en géotechnique; les résultats préliminaires doivent être transmis dans les 48 heures suivant l'essai. L'entrepreneur doit par la suite remettre au surveillant, 7 jours après la réalisation de l'essai, un avis écrit signé par un ingénieur indiquant que les résultats de l'essai est conforme aux exigences. Cet ingénieur doit avoir au minimum trois années d'expérience dans le domaine des essais sur pieux et être membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec. Cet avis est important puisque les travaux pourront alors se poursuivre, notamment au niveau de mise en œuvre de la semelle. Un rapport final doit être ensuite préparé et signé par un ingénieur. Ce rapport doit être remis au surveillant à l'intérieur d'un délai maximal de 6 semaines après la réalisation de l'essai. Le surveillant se doit alors de le transmettre immédiatement au concepteur pour commentaires.

3.5.2.2 Essai de traction

En raison de l'importante augmentation des charges depuis l'introduction de la norme CAN/CSA-S6, et plus particulièrement celles relatives au calcul parasismique, plusieurs ouvrages nécessitent maintenant des pieux en acier travaillant en traction. Selon les exigences du devis spécial, chaque essai de traction (arrachement) doit se poursuivre jusqu'à la charge de conception à l'état limite ultime (ÉLUL) divisée par le

coefficient de tenue géotechnique (degré de compréhension typique) et le coefficient de conséquences prescrits à la norme CAN/CSA-S6. L'essai de traction est exigé lorsque la résistance à la traction doit être développée par la friction des sols sur le pieu.

Lorsque cela est indiqué au devis spécial, les essais de traction peuvent être remplacés par des essais dynamiques, accompagnés d'une analyse CAPWAP. Ces essais doivent cependant être validés par au moins un essai de traction standard par pont. Cette alternative, mentionnée au devis spécial, est intéressante à cause de son coût plus bas.

Cet essai s'apparente de très près à l'essai de chargement. Le montage ainsi que le contrôle des différents paliers de charges et des déplacements du pieu sont relativement similaires. Par contre, la norme régissant cet essai est différente; il s'agit de la norme ASTM D3689. Le surveillant doit prendre connaissance de cette norme avant le début des travaux; s'il éprouve des difficultés avec certaines notions s'y rattachant, il doit consulter un spécialiste dans ce domaine.

Il est exigé au CCDG que les opérations suivantes soient réalisées par un ingénieur spécialisé en géotechnique :

- rédiger et remettre au surveillant un avis écrit sur le montage proposé par l'entrepreneur;
- inspecter le montage, rédiger et remettre au surveillant un avis écrit à propos du montage;
- superviser l'essai sur le site;
- transmettre au surveillant les résultats préliminaires, 48 heures après la réalisation de l'essai;
- fournir au surveillant un avis écrit sur la conformité de l'essai, 7 jours après la réalisation de l'essai;
- fournir au surveillant un rapport final sur l'essai, 6 semaines après la réalisation de l'essai.

Cette exigence du CCDG est nécessaire étant donné que très peu d'entrepreneurs ont la compétence requise pour superviser et interpréter les résultats.

Matériel

L'entrepreneur doit remettre au surveillant tous les documents relatifs à l'essai de traction, notamment le plan descriptif du montage, les certificats récents d'étalonnage des manomètres, des vérins, des cellules de charge et des extensomètres qu'il se propose d'utiliser. Les vérins doivent être équipés d'une cellule de charge afin d'obtenir un contrôle précis des différents paliers de charges et de respecter les exigences de la norme ASTM D3689. S'il y a une différence entre la mesure enregistrée par le vérin et celle de la cellule de charge lors de l'essai, l'entrepreneur doit corriger la situation.

Bien qu'aucun délai précis n'apparaisse dans le CCDG, il est recommandé que ces documents soient remis suffisamment à l'avance pour que le surveillant puisse les étudier et, au besoin, consulter le concepteur. De plus, cette précaution permet d'aviser l'entrepreneur bien avant l'essai pour éviter des pertes de temps inutiles au cas où les documents s'avéreraient incomplets. L'entrepreneur ne commence l'essai qu'une fois les documents jugés conformes par le surveillant.

Comme pour l'essai de chargement, la procédure de chargement exigée est la procédure Quick Test. Deux montages sont donc possibles et ils utilisent une poutre de transfert soutenue par des pieux de support ou par des bancs de bois. Un premier montage prévoit l'utilisation d'un seul vérin placé sur la poutre de transfert et directement au-dessus du pieu d'essai alors que le deuxième montage nécessite l'emploi d'un vérin à chaque extrémité de la poutre de transfert et au-dessus de ses supports. La figure 3.5-5 montre le montage généralement utilisé.

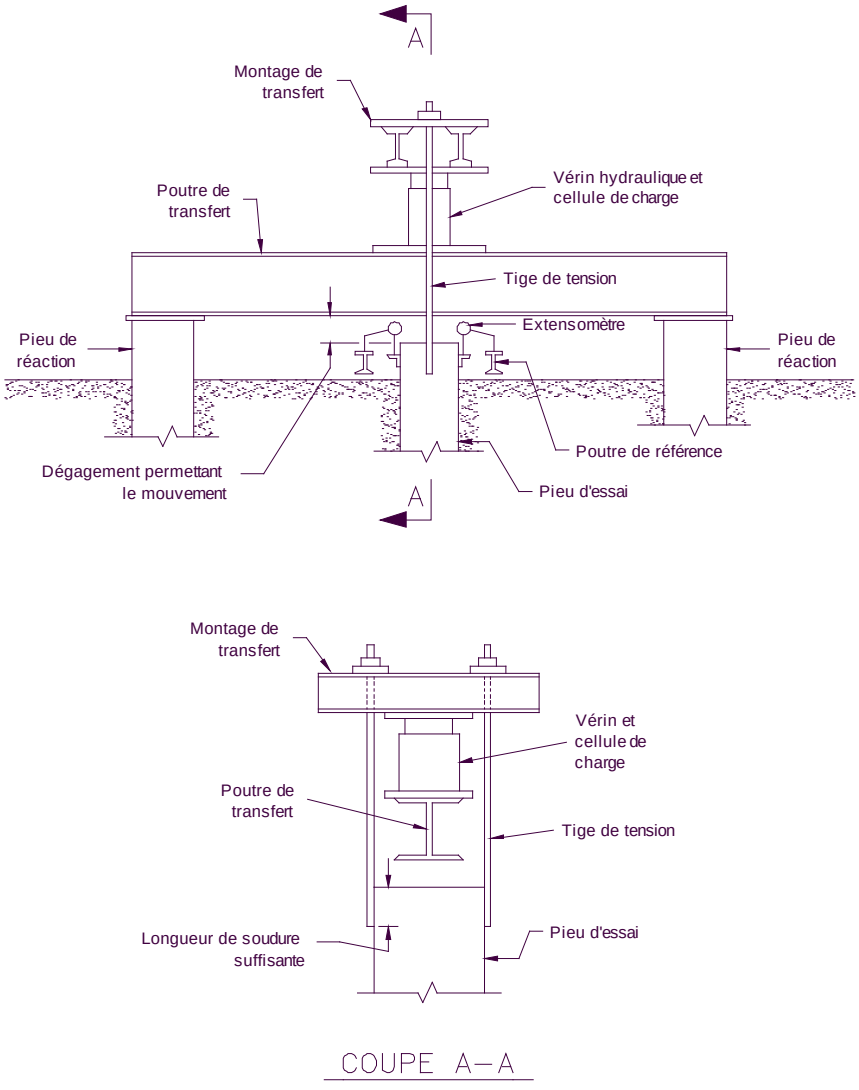


Figure 3.5-5 Montage pour essai en traction – avec un seul vérin

Méthode d'essai et suivi de l'essai

Puisque les paliers de chargement et de déchargement sont les mêmes que ceux utilisés pour l'essai de chargement, le surveillant peut donc se référer à la partie 3.5.2.3 a) « Méthode d'essai » du présent chapitre pour le suivi de cet essai.

Interprétation des résultats

Les résultats des essais sont considérés comme acceptables lorsque la résistance géotechnique ultime est supérieure à la charge d'essai et, comme mentionné au devis spécial, que la déformation du pieu n'excède pas la déformation élastique du pieu de plus de 5 mm.

L'interprétation des résultats doit être faite par une personne compétente en géotechnique. Les résultats préliminaires doivent être transmis dans les 48 heures suivant l'essai. L'entrepreneur doit par la suite remettre au surveillant, 7 jours après la réalisation de l'essai, un avis écrit signé par l'ingénieur indiquant que les résultats de l'essai est conforme aux exigences. Cet ingénieur doit avoir au minimum trois années d'expérience dans le domaine des essais sur pieux et être membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec. Cet avis est important puisque les travaux pourront alors se poursuivre, notamment au niveau de la mise en œuvre de la semelle. Un rapport final doit être ensuite préparé et signé par le même ingénieur. Ce rapport doit être remis au surveillant à l'intérieur d'un délai maximal de 6 semaines après la réalisation de l'essai. Le surveillant se doit alors de le transmettre immédiatement au concepteur pour commentaires.

3.5.2.3 Essai de chargement statique

Selon les exigences du devis spécial, chaque essai de chargement statique doit se poursuivre jusqu'à la charge indiquée au plan.

Il est exigé au CCDG que les opérations suivantes soient réalisées par un ingénieur spécialisé en géotechnique :

- rédiger et remettre au surveillant un avis écrit sur le montage proposé par l'entrepreneur;
- remettre au surveillant un avis écrit à propos du montage réalisé;
- superviser l'essai sur le site;
- transmettre au surveillant les résultats préliminaires, 48 heures après la réalisation de l'essai;
- fournir au surveillant un avis écrit sur la conformité de l'essai, 7 jours après la réalisation de l'essai;
- fournir au surveillant un rapport final sur l'essai, 6 semaines après la réalisation de l'essai.

Cette exigence du CCDG est nécessaire étant donné que très peu d'entrepreneurs ont la compétence requise pour superviser et interpréter les résultats.

a) Méthode d'essai

L'essai de chargement consiste à mesurer la résistance géotechnique du pieu en soumettant chaque pieu d'essai à un chargement statique pendant une certaine période de temps. Le suivi de cet essai est entièrement sous la responsabilité du surveillant qui doit s'assurer à toutes les étapes de l'essai que l'entrepreneur respecte le protocole d'essai imposé par les documents contractuels dont la norme ASTM D1143/D1143M. Pour ce faire, le surveillant doit prendre connaissance de cette norme avant le début des travaux; s'il éprouve des difficultés avec certaines notions s'y rattachant, il doit consulter un spécialiste dans ce domaine.

L'essai de chargement exige beaucoup de minutie tant en ce qui concerne les différents paliers de charges utilisés qu'en ce qui a trait à la séquence très précise de l'application de ces charges. L'essai doit être arrêté si l'entrepreneur ne réussit pas à respecter l'une ou l'autre de ces exigences.

La méthode d'essai Quick test tirée de la norme ASTM D1143/D1143M est utilisée, mais avec les précisions suivantes relatives au chargement, à la période d'attente et au déchargement.

<u>Chargement</u>

Le chargement se fait selon des paliers de charges consistant en des accroissements successifs de charges équivalant à 6 % de la charge d'essai (10 % de la charge pondérée) jusqu'à l'obtention de cette dernière ou jusqu'à la rupture du pieu, celle-ci se produisant lorsqu'il faut continuellement ajuster le vérin afin de maintenir la charge adéquate sur le pieu. Le chargement se fait donc selon 17 paliers.

L'accroissement des charges se fait toutes les 10 minutes et sa précision est contrôlée par une cellule de charge. L'affaissement du pieu est mesuré tout juste avant et tout juste après un nouvel accroissement de charge.

La charge telle que mesurée par la cellule de charge doit demeurer constante durant la période de 10 minutes qui sépare chaque accroissement de charge, sinon elle doit être ajustée en conséquence avant chaque prise de lecture. Puisque cette lecture sera probablement erronée, le surveillant doit faire mention sur le formulaire V-2058 « Essai de chargement d'un pieu - Données » du défaut à maintenir la charge constante afin de ne pas nuire à l'interprétation des résultats. L'essai de chargement devrait être jugé non conforme si plus de deux lectures sont erronées ou si la dernière lecture est erronée; l'essai devrait alors être repris.

Période d'attente

Une fois la charge d'essai atteinte, le surveillant note l'affaissement du pieu immédiatement après l'application de cette charge, puis après 2,5 minutes et 5 minutes. La durée d'application de la charge d'essai est fixée à 5 minutes à moins de spécifications différentes dans les plans et devis.

Le surveillant doit veiller à ce que la charge mesurée par la cellule de charge demeure constante durant la période d'attente afin de s'assurer que la charge d'essai est maintenue en tout temps sur le pieu. Si ce n'est pas le cas, l'essai de chargement devrait être jugé non conforme et celui-ci devrait être repris.

Déchargement

Le déchargement se fait par des décroissements successifs de charge équivalant à 25 % de la charge d'essai jusqu'à l'enlèvement complet de la charge. Le décroissement des charges se fait toutes les 5 minutes et sa précision est contrôlée par une cellule de charge. Le rebondissement du pieu est mesuré tout juste avant et tout juste après un nouveau décroissement de charge.

La charge telle que mesurée par la cellule de charge doit demeurer constante durant la période de 5 minutes qui sépare chaque décroissement de charge, sinon elle doit être ajustée en conséquence avant chaque prise de lecture. Puisque cette lecture sera probablement erronée, le surveillant doit faire mention sur le formulaire V-2058 « Essai de chargement d'un pieu - Données » du défaut à maintenir la charge constante afin de ne pas nuire à l'interprétation des résultats. L'essai de chargement devrait être jugé non conforme si plus d'une lecture est erronée ou si la dernière lecture est erronée; l'essai devrait alors être repris.

Une fois le déchargement achevé, le surveillant note le rebondissement du pieu immédiatement après l'application de cette charge, puis après 2,5 minutes et 5 minutes.

Suivi de l'essai

Le suivi de l'essai devrait être effectué autant par l'entrepreneur que par le surveillant. Ce suivi est très important afin d'établir avec précision la résistance géotechnique du pieu. Pour ce faire, le surveillant doit remplir deux formulaires.

Un premier, le V-2058 « Essai de chargement d'un pieu - Données », sert à enregistrer les données concernant les différents paliers de charges appliquées sur le pieu ainsi que les données des déplacements de celui-ci. Ce formulaire sert de base pour l'élaboration du graphique charge – tassement nécessaire à l'établissement de la résistance géotechnique ultime; ce graphique est tracé sur le formulaire V-2057 « Essai de chargement d'un pieu - Graphique ». Ces deux formulaires sont montrés aux figures 3.5-6 et 3.5-7.



Transports, Mobilité durable et Électrification des transports
Québec

Essai de chargement d'un pieu – Données

Informations générales

N° de dossier	N° d'unité de fondation	N° de pieu	Entrepreneur
N° de plan	**Date de l'essai** (Année-Mois-Jour)		**Sous-traitant**
PO-			

Équipements

Ensemble « vérin, pompe et manomètre » — Date du certificat d'échantillonnage (A-M-J) _____

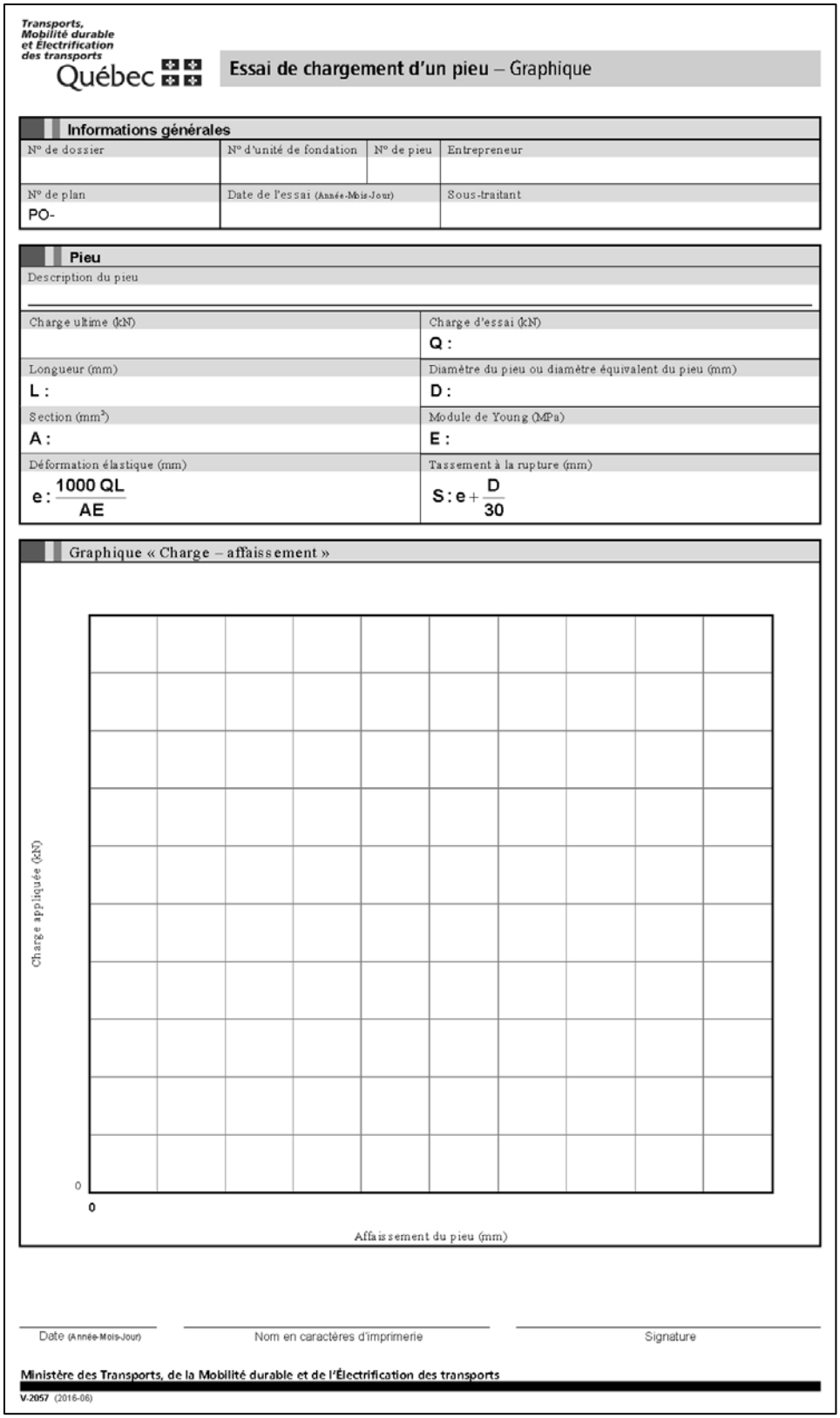
Vérin	Pompe	Manomètre
Modèle _____	Modèle _____	Modèle _____
N° de série _____	N° de série _____	N° de série _____
Capacité _____	Capacité _____	Capacité _____

Cellule de charge — Date du certificat d'échantillonnage (A-M-J) _____

Modèle	N° de série	Capacité
_____	_____	_____

Données

Heure	Charge (kN)	Pression (MPa)	Extensomètre n° 1			Extensomètre n° 2			Aff. cum. moyen (mm)	Tassement à la rupture (mm)
			Lecture (mm)	Différence (mm)	Aff. cum. (mm)	Lecture (mm)	Différence (mm)	Aff. cum. (mm)		



Transports, Mobilité durable et Électrification des transports
Québec

Essai de chargement d'un pieu – Graphique

Informations générales

N° de dossier	N° d'unité de fondation	N° de pieu	Entrepreneur
N° de plan	**Date de l'essai** (Année-Mois-Jour)		**Sous-traitant**
PO-			

Pieu

Description du pieu

Charge ultime (kN)	Charge d'essai (kN)
	Q :
Longueur (mm)	**Diamètre du pieu ou diamètre équivalent du pieu (mm)**
L :	**D :**
Section (mm^2)	**Module de Young (MPa)**
A :	**E :**
Déformation élastique (mm)	**Tassement à la rupture (mm)**
$e : \frac{1000\,QL}{AE}$	$S : e + \frac{D}{30}$

Graphique « Charge – affaissement »

Charge appliquée (kN)

0

0

Affaissement du pieu (mm)

Date (Année-Mois-Jour) | Nom en caractères d'imprimerie | Signature

Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports

V-2057 (2016-06)

Figure 3.5-7 Formulaire V-2057 « Essai de chargement d'un pieu - Graphique »

b) Matériel

Montage

Le montage comprend les éléments nécessaires à l'application de la charge d'essai et les extensomètres pour contrôler les déplacements, l'affaissement ou le rebondissement du pieu pendant toute la durée de l'essai.

Bien que la norme ASTM D1143/D1143M décrive trois montages possibles, le fait que le Ministère exige l'utilisation de la procédure de chargement Quick Test a pour conséquence que seuls les deux montages prévoyant l'utilisation d'un vérin sont acceptables.

Ceux-ci consistent à appliquer la charge d'essai à partir d'une plate-forme installée sur la tête du pieu ou d'un vérin posé entre la tête du pieu et une poutre, cette dernière étant fixée à deux pieux adjacents ou, plus rarement, par des dispositifs d'ancrage adéquats. Pour le montage nécessitant l'utilisation d'une plate-forme, la charge totale de celle-ci doit être un peu supérieure à la charge d'essai pour éviter son soulèvement lors des essais.

La figure 3.5-8 montre des exemples de différents montages. Ceux-ci doivent être réalisés de façon à permettre de centrer parfaitement la charge d'essai sur le pieu.

Les plaques de répartition en acier situées au-dessous et au-dessus du vérin doivent avoir une épaisseur d'au moins 50 mm afin d'éviter que le fléchissement des plaques nuise à la précision de l'essai. Les deux extensomètres sont localisés à 180° l'un de l'autre sur le pourtour du pieu et ils sont chacun reliés à une poutre repère.

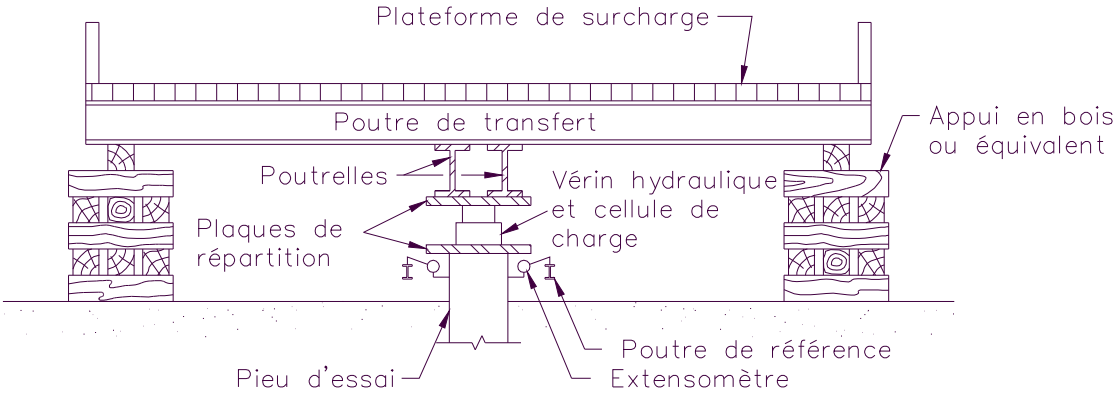
L'entrepreneur doit remettre au surveillant tous les documents relatifs à l'essai de chargement, notamment le plan descriptif du montage, les certificats récents d'étalonnage des manomètres, des vérins, des cellules de charge et des extensomètres qu'il se propose d'utiliser. Les vérins doivent être équipés d'une cellule de charge afin d'obtenir un contrôle précis des différents paliers de charges et de respecter les exigences de la norme ASTM D1143/D1143M. S'il y a une différence entre la mesure enregistrée par le vérin et celle de la cellule de charge lors de l'essai, l'entrepreneur doit corriger la situation.

Bien qu'aucun délai précis n'apparaisse dans le CCDG, il est recommandé que ces documents soient remis suffisamment à l'avance pour que le surveillant puisse les étudier et, au besoin, consulter le concepteur. De plus, cette précaution permet d'aviser l'entrepreneur bien avant l'essai pour éviter des pertes de temps inutiles au cas où les documents s'avéreraient incomplets. L'entrepreneur ne commence l'essai qu'une fois les documents jugés conformes par le surveillant.

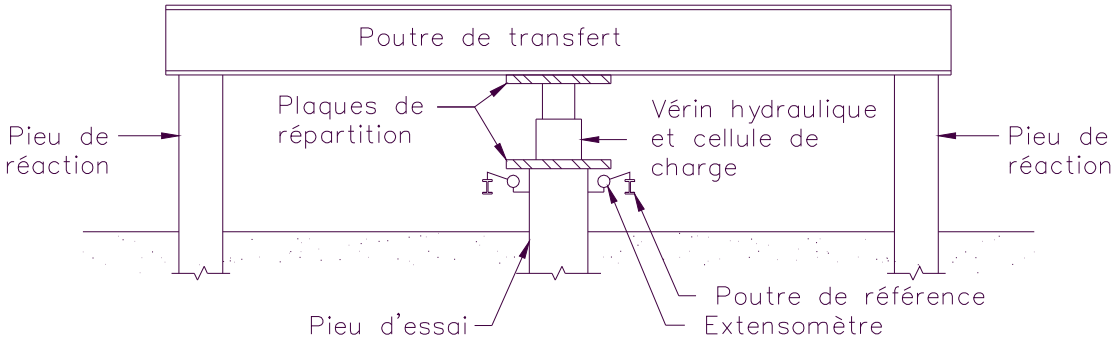
Contrôle des déplacements

Le surveillant doit s'assurer que les extensomètres sont fixés solidement à une poutre repère dont les supports verticaux, généralement en bois, sont situés à une distance d'au moins 2,5 m du pieu d'essai. Les supports sont enfoncés dans le sol quand tous les autres éléments du montage sont en place. Cette précaution est nécessaire pour s'assurer que le montage et le déplacement du pieu ne nuisent pas à la qualité des mesures.

Puisque la norme exige que les déplacements du pieu d'essai soient contrôlés de deux façons, outre les extensomètres, l'utilisation d'un niveau d'arpentage est généralement privilégiée par l'entrepreneur.



ESSAI DE CHARGEMENT À L'AIDE D'UNE SURCHARGE



ESSAI DE CHARGEMENT À L'AIDE DE PIEUX ADJACENTS

Figure 3.5-8 Montages pour essai de chargement

c) Interprétation des résultats

Les résultats des essais sont considérés comme acceptables lorsque la résistance géotechnique ultime est supérieure à la charge d'essai.

L'interprétation des résultats doit être faite par une personne compétente en géotechnique. Les résultats préliminaires doivent être transmis dans les 48 heures suivant l'essai. L'entrepreneur doit par la suite remettre au surveillant, 7 jours après la réalisation de l'essai, un avis écrit signé par cet ingénieur indiquant que les résultats de l'essai est conforme aux exigences. Cet ingénieur doit avoir au minimum trois années d'expérience dans le domaine des essais sur pieux et être membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec. Cet avis est important puisque les travaux pourront alors se poursuivre, notamment au niveau de la mise en œuvre de la semelle. Un rapport final doit être ensuite préparé et signé par le même ingénieur. Ce rapport doit être remis au surveillant à l'intérieur d'un délai maximal de 6 semaines après la réalisation de l'essai. Le surveillant se doit alors de le transmettre immédiatement au concepteur pour commentaires.

L'ingénieur de l'entrepreneur détermine la résistance géotechnique ultime selon les indications données dans le CCDG. Si l'affaissement du pieu à la fin de la période d'attente est inférieur au tassement à la rupture « S », la résistance géotechnique du pieu est jugée conforme. L'ingénieur de l'entrepreneur doit compléter le formulaire V-2057 « Essai de chargement d'un pieu- Graphique ». La figure 3.5-9 montre un exemple de graphique « charge – affaissement » complété.

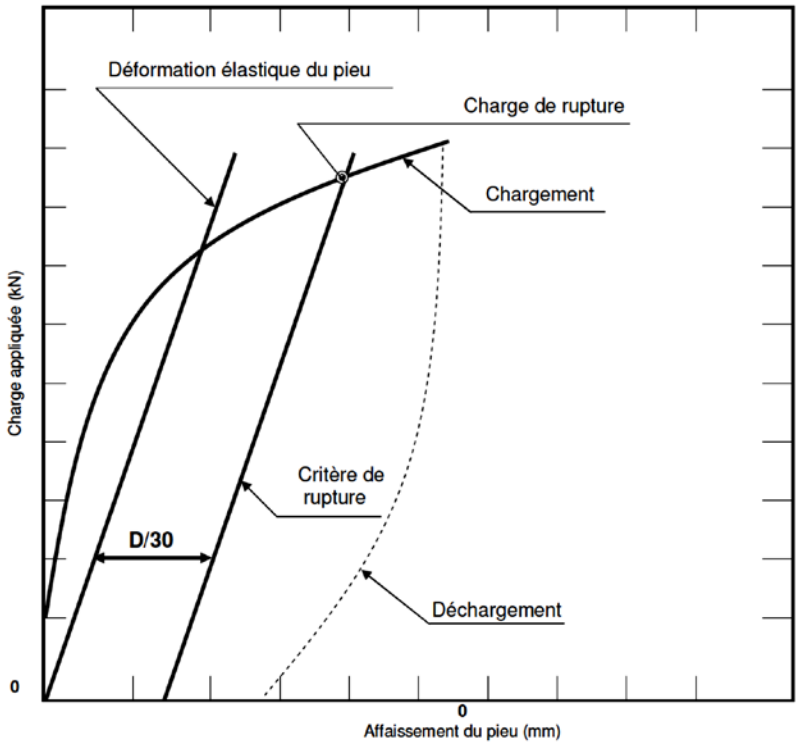


Figure 3.5-9 Représentation d'un graphique « charge – affaissement »

Arasement

Lorsque tous les pieux battus d'une même unité de fondation sont enfoncés et que les essais pour déterminer la résistance géotechnique sont terminés et jugés conformes, les pieux doivent être arasés à l'horizontale selon l'élévation prévue dans les plans, avec une tolérance de ± 25 mm. Ce dernier point est important afin de respecter la longueur d'encastrement des pieux dans la semelle. Il est essentiel d'attendre la fin des essais avant de procéder à l'arasement, car ceux-ci peuvent conclure à la non-conformité d'un ou de plusieurs pieux, et il faut alors continuer l'enfoncement; cette dernière opération est impossible si les pieux ont déjà été arasés. L'arasement à l'horizontale s'impose pour faciliter la mise en place des armatures de la semelle, pour respecter plus facilement la longueur d'encastrement du pieu dans la semelle et pour améliorer le comportement structural des pieux.

Une fois l'arasement effectué, il ne doit pas y avoir d'endommagement de la partie supérieure des pieux. Si certains d'entre eux sont endommagés, le surveillant doit consulter le concepteur pour s'enquérir des correctifs à apporter.

Une fois effectué l'arasement d'un pieu tubulaire en acier qui n'est pas rempli de béton, l'entrepreneur doit installer une plaque en acier d'au moins 20 mm d'épaisseur pour empêcher le béton de la semelle de pénétrer dans le tube et, surtout, pour répartir uniformément les charges sur le pieu. Cette plaque devrait déborder de quelques millimètres le périmètre du tube afin de faciliter le soudage et, surtout, pour s'assurer que la plaque répartira correctement les charges. Puisque la plaque devrait s'ajuster au périmètre du pieu, la plaque d'un pieu incliné devrait avoir une forme légèrement ovale. Les soudures doivent être réalisées selon les exigences du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » du présent manuel.

La tête des pieux en bois doit, après l'arasement, recevoir deux couches saturées de créosote suivies d'une couche d'enduit bitumineux conformément aux exigences de l'article 9.17.10 « Têtes de pieux » de la norme CAN/CSA-S6.

Dans le cas d'un pieu tubulaire en acier rempli de béton ou d'un pieu caisson, l'arasement devrait être effectué avant le bétonnage afin d'en faciliter l'exécution; il est en effet très difficile d'araser, sans l'endommager, un pieu rempli de béton.

PHOTOGRAPHIES

PIEUX



Pieux en H



Pieux tubulaires en acier



Pieu caisson (tube métallisé)



Grue, mat et jumelle



Casque de battage (coussin et chapeau)



Guide d'alignement sur la jumelle



Vibrofonceur



Cadre pour la mise en place d'un pieu caisson



Clapet pour excaver l'intérieur d'un pieu caisson



Trépan pour la réalisation de l'emboîture



Repères pour localisation des pieux



Mesure de l'épaisseur d'un pieu tubulaire en acier



Contrôle de la pente des pieux battus



Contrôle de l'alignement au niveau d'un joint soudé



Mesure de l'enfoncement d'un pieu battu



Instrumentation d'un pieu pour l'essai dynamique



Essai dynamique : jauge de déformation et accéléromètre



Essai dynamique : analyseur de battage



Essai de chargement : banc ancré sur pieux adjacents



Essai de chargement : banc ancré à l'aide de tiges d'ancrages au roc



Essai de chargement : manomètres, vérins et extensomètres

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 3 – PIEUX

DOCUMENTS REQUIS

Plans d'atelier et note de calcul pour pieux battus

- Signés et scellés par un ingénieur
- Doivent être visés par le concepteur

Programme de travail pour les pieux caissons

- À remettre 14 jours avant la mise en œuvre des pieux caissons
- À transmettre au concepteur pour information

EXIGENCES DE CONCEPTION

- Voir CCDG (à l'intention du concepteur)

MATÉRIAUX

Les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

Acier

- Norme 6101 du Ministère
- Tout pieu non marqué doit être refusé

Béton

- Type XI (pieux tubulaires) ou type XIV-C (pieux caissons) si le bétonnage se fait entièrement à sec (tube et emboîture) selon norme 3101 du Ministère et de type XV (antilessivage) pour tous les autres cas.

Bois

- Norme 11101 du Ministère (diamètres fixés au CCDG)
- Traitement de préservation lorsque demandé dans le devis spécial

Acier d'armature

- Norme 5101 du Ministère

Pointes

- Lorsque demandées dans le devis spécial (voir annexe du devis)

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

Assurance de la qualité

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport.*

Pointes Oslo : mandater la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère (via le gérant de projet du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) pour suivi de la fabrication

MISE EN ŒUVRE

Généralités

- Vérifier la conformité des pieux avec les plans d'atelier
  - Longueur ($>$ 10 m entre sections), section, diamètre et épaisseur des parois
  - Longueur nécessaire pour avoir 1,8 m hors sol après enfoncement

Enfoncement

- Vérifier la localisation des pieux avant le battage (repères à installer)
- Contrôler la position finale de chaque pieu après le battage
  - Déviation de l'axe : $<$ 2 %
  - Écart de la tête : $<$ 100 mm
- Contrôler, le cas échéant, les vibrations produites par les équipements et le sautage
- Si pieux déjà enfoncés se soulèvent ou s'enfoncent lors du battage : voir manuel
- Équipement
  - Noter les caractéristiques des équipements utilisés (dont celles du casque de battage, du coussin et de la masse en acier), photos
- Énergie de battage
  - Marteaux à chute libre : vérifier si friction excessive sur la jumelle
  - Autres marteaux
    → Vérifier les caractéristiques du marteau (document à fournir par l'entrepreneur)
  - Pieu en acier
    → Énergie maximale de battage : 6 joules (J)/mm^2
  - Pieu en bois
    → Énergie maximale de battage : 80D
    → Énergie maximale par millimètre d'enfoncement : 125D
- Pieux battus (acier ou bois)
  - Foncés à la verticale ou en position inclinée (voir plans)
  - Marteau à chute libre
    → Vérifier le poids de la masse en acier (7 850 kg/m^3)
    → Diminuer la hauteur de chute pour traverser un sol très dense ou pour arrimer un pieu au roc
  - Autres marteaux
    → Vérifier régulièrement la cadence de frappe et la pression de l'air ou de la vapeur (utiliser au besoin un marteau à chute libre pour vérifier le critère de refus)

- Pieu en acier
  - → Soudures bout à bout pleine pénétration, procédé SMAW : selon les exigences du chapitre 7 de ce manuel (vérifiées à 100 % par ultrasons sur au moins 25 % des joints), ou fil fourré (FCAW ou MCAW) avec abri
    - Joints soudés perpendiculairement à l'axe des pieux
    - Pieux en H
      - Pieu vertical : orientation de l'axe fort du pieu selon plans d'atelier
      - Pieu incliné : âme du pieu doit être parallèle à son axe d'inclinaison
    - Exigences de contrôle de soudures pour les pieux fabriqués à partir de tôle torsadées soudées, voir texte du manuel
- Pieu en acier tubulaire rempli de béton
  - → Ancrage au roc : voir devis spécial (vérifier la profondeur et la propreté des trous)
  - → Tube : énergie de battage et mise en œuvre comme pieux en acier
  - → Armature et bétonnage : selon les exigences du chapitre 4 du présent manuel
  - → Le béton peut-être placé en chute libre; goulotte de centrage installée dans la section armée (partie supérieure) et vibration pour la partie armée
- Pieu en bois
  - → Arrêter le battage si augmentation brusque de la résistance à l'enfoncement, continuer avec une énergie moindre si la profondeur atteinte est moindre que celle prévue
  - → Arrêter le battage si l'énergie maximale de battage par millimètre d'enfoncement est dépassée, consulter le concepteur
- Suivi de l'enfoncement des pieux (acier ou bois)
  - → À faire par l'entrepreneur et par le surveillant
  - → Fonçage non fait jusqu'au roc
    - Par séries de coups de marteau (nombre de coups par série : selon critère de refus)
    - Rebattage des pieux lorsque cela est demandé au devis spécial (délai d'attente de 24 heures). Aucun rebattage n'est permis dans le cas de pieux foncés entièrement dans des sols argileux
  - → Fonçage jusqu'au roc
    - Ne pas confondre le socle rocheux avec un bloc ou un sol dense
    - Arrimage au roc lorsqu'une pointe OSLO est utilisée (battage selon devis spécial)
  - → Après fonçage des pieux : vérifier la longueur foncée avec celle prévue dans les plans de sondage (pieux foncés au roc) ou avec les plans d'atelier (pieux non foncés au roc)
  - → Remplir les formulaires V-2056 « Enfoncement de pieux battus ou vibrofoncés » et V-1876 « Journal de fonçage d'un pieu battu ou vibrofoncé »
    - V-2056
      - Une ligne à remplir pour chaque pieu
    - V-1876
      - 10 % des pieux d'une semelle
      - Nombre de coups : 100 au début du fonçage, à diminuer progressivement lors du battage pour atteindre le nombre fixé pour le critère de refus
      - À transmettre au concepteur au besoin

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Pieux caissons
  - Firme spécialisée dans le domaine
  - Ingénieur spécialisé en géotechnique (présent à la première réunion de chantier traitant des fondations sur pieux caissons et aux phases critiques; rapport à faire). Si plusieurs pieux à mettre en place sur un même pont, ne pas exiger cette présence au chantier si la mise en place des premiers pieux s'est bien déroulée
  - Localiser les pieux avant le fonçage (repères à installer)
  - Plaques de renforcement et dents de forage soudées à la base, le cas échéant (indiquées aux plans d'atelier)
  - Méthode pour contrôler la position et la verticalité du pieu : à remettre au surveillant pour information (nombre minimal de contrôles souhaitable : tous les 500 ou 1 000 mm d'enfoncement, jamais moins de 2 par jour)
  - Protection anticorrosion si le tube d'acier est considéré dans le calcul structural des pieux ou, si ce n'est pas le cas, pour améliorer l'esthétisme de la partie apparente des pieux caissons
  - Contrôler, le cas échéant, les vibrations produites par les équipements et le sautage
  - Soudure bout à bout pleine pénétration
    - → Selon les exigences du chapitre 7 de ce manuel (vérifiées à 100 % par ultrasons)
    - → Procédé SMAW ou FCAW/MCAW avec abri
    - → Attestation sur-le-champ de la conformité des soudures par inspecteur en soudage (rapport écrit à fournir dans les 7 jours)
  - Excavation à l'intérieur du tube
    - → Au fur et à mesure de l'enfoncement (sans jamais précéder le tube) ou à la fin de l'enfoncement
    - → Dans les sols pulvérulents de faible compacité, maintenir la suppression d'eau dans le tube d'acier à environ 1 m durant son enfoncement
  - Une fois le socle rocheux atteint
    - → Vérifier la longueur foncée avec celle prévue dans les plans
    - → Enlever tout le roc effrité au-dessus du roc
    - → Contrôler la position finale de chaque pieu après le fonçage
      - Déviation de l'axe : < 2 %
      - Écart de la tête : < 100 mm
    - → Impossibilité de ramener un pieu à l'intérieur des tolérances de position et de verticalité
      - Arrêter les travaux
      - Consulter le concepteur
  - Inspection des sols autour du pieu
    - → S'assurer que les méthodes de travail n'entraînent pas une baisse de la résistance latérale des sols
      - Vérifier que les travaux sont bien faits tout au long de ceux-ci
      - Si perte de résistance latérale des sols autour du pieu, par exemple : affaissement localisé et non-uniforme autour du tube (jugement du surveillant)
        - Arrêter les travaux
        - Autoriser la reprise des travaux qu'après avoir reçu des méthodes de travail révisées
        - Demander à l'entrepreneur des forages pour évaluer l'état de compaction des sols
        - Si perte de résistance latérale confirmée, nature des travaux correctifs à fournir par l'entrepreneur
        - Une fois ces travaux terminés, rapport signé par ingénieur spécialisé en géotechnique à fournir par l'entrepreneur (à fournir au moins 48 heures avant le bétonnage du pieu)

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

  - Emboîture

→ Profondeur indiquée dans les plans (à mesurer avec une chaîne et une pesée)

→ Réalisée qu'une fois le tube bien encastré dans le roc sain sur tout son pourtour

→ Réalisée au moyen d'un trépan, de marteaux « fond de trou » ou d'une foreuse

→ Contrôle par forage du roc du fond de l'emboîture (lorsque demandé au devis)

  - À faire par entrepreneur (entreprise de forage supervisée par laboratoire enregistré)
  - Profondeur de 3 m ou de 2 fois le diamètre du tube
  - Rapport à fournir au surveillant (délai max. de 5 jours pour étude suivi d'un avis du surveillant autorisant la poursuite des travaux). Vérifier concordance des échantillons de roc avec les sondages
  - Le nombre de forages peut être limité à 10 % du nombre de pieux caissons lorsque ces derniers sont nombreux et de petits diamètres (ex. : 410 mm)

→ Inspection de l'emboîture au moyen d'une caméra vidéo (eau à filtrer au besoin)

  - Vérifier diamètre, qualité de l'encastrement, de la base du tube d'acier et du roc (si roc fracturé, consulter concepteur)
  - Le nombre d'inspections par caméra peut être limité à 10 % du nombre de pieux caissons lorsque ces derniers sont nombreux et de petits diamètres (ex. :410 mm)

→ Nettoyer le pieu caisson et l'emboîture (enlever eau et dépôts; pour pieu non étanche : jusqu'à ce que l'eau soit claire, ajouter section de tube d'acier si nécessaire)

→ Obtenir le formulaire 319.1 « Contrôle de la qualité d'un pieu caisson » dûment signé avant d'autoriser le bétonnage

- Arasement

  → Après réception et analyse du rapport d'enfoncement et d'inspection, autoriser l'arasement

- Armature

  → Selon les exigences du chapitre 4 du présent manuel

  → Vérifier

    - Longueur de la cage d'armature
    - Longueurs de chevauchement
    - Rigidité de la cage d'armature
    - Présence de cales rondes en plastique : 1,2 m c/c (enrobage conforme)
    - Vérification de la longueur totale du pieu et de l'emboîture immédiatement avant la mise en place des armatures

- Bétonnage

  → Selon les exigences du chapitre 4 du présent manuel

    - S'assurer que l'extrémité de la pompe soit descendue au fond de l'emboîture (être sûr que la longueur de la conduite corresponde à la hauteur combinée du tube et de l'emboîture)
    - Suivre les exigences du bétonnage sous l'eau (notamment celle mentionnant de maintenir en tout temps l'extrémité de la conduite de la pompe noyée dans le béton)
    - Utiliser béton de type XIV-C (autoplaçant de construction) si l'intérieur du pieu caisson est sec, sinon utiliser le béton de type XV (antilessivage)
    - Si le béton type XV, vibration de la partie supérieure (2 m) une fois toute la laitance évacuée du tube

- Contrôle du bétonnage par des essais CSL : lorsque les pieux caissons possèdent un diamètre inférieur à environ 800 mm, il est déconseillé d'installer des tubes d'essais pour la réalisation d'essais CSL car l'espace devient trop restreint pour le passage de la conduite de bétonnage.

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Suivi de l'enfoncement
  → À faire par l'entrepreneur et par le surveillant
  → À faire selon la méthode fournie par l'entrepreneur (7 jours avant enfoncement)
  → Remplir le formulaire V-1877 « Enfoncement d'un pieu caisson »
    - Un formulaire à remplir pour chaque pieu
    - Une ligne à remplir pour chaque vérification de la position et de la verticalité

Résistance géotechnique (pieux battus)

- Essais à réaliser : selon les plans et devis
- Si pieux témoins utilisés hors de l'ouvrage à construire : attendre les résultats des essais sur ces pieux avant de bétonner les semelles des unités de fondation
- Faire suspendre, lors des essais, tout travail susceptible de causer des vibrations dans le sol environnant le pieu
- Choix des pieux d'essai
  - Pieux choisis par le surveillant parmi ceux ayant été suivis de façon détaillée (V-1876) (essai dynamique : choix fait en collaboration avec la firme spécialisée)
  - Nombre de pieux d'essai : selon les plans et devis
- Avant les essais
  - S'assurer que tous les pieux d'une unité sont mis en place (exception pour les essais dynamiques : un des essais peut être fait et payé après qu'au moins 50 % des pieux sont en place)
  - Enlever la partie déformée du dessus des pieux d'essai
  - Sols argileux
    → Attendre la dissipation des pressions interstitielles (délai d'attente parfois précisé dans le devis spécial), sauf si l'entrepreneur prend les mesures suivantes :
      - Pieux additionnels ou plus longs
      - Pieux témoins à l'extérieur de l'emplacement de l'unité de fondation (doit être mentionné dans le devis spécial)
- Essai dynamique
  - Réalisé par une firme spécialisée en géotechnique mandatée par l'entrepreneur
    → Vérifier auprès du concepteur si la firme désignée est capable de faire l'essai
  - Surveillant doit être présent lors de l'essai
  - Analyse CAPWAP à faire sur un ou plusieurs des pieux qui ont servi aux essais dynamiques (nombre fixé au devis)
  - Pieux tubulaires en acier remplis de béton
    → 2 possibilités (à discuter avec le concepteur)
      - Essai sur le tube seul
      - Essai sur le pieu bétonné
  - Interprétation des résultats
    → Résultats préliminaires à transmettre au surveillant (48 heures après l'essai)
    → Avis signé par un ingénieur remettre au surveillant (7 jours après l'essai)
    → Rapport signé par un ingénieur (remettre au surveillant 6 semaines après l'essai)
    → Transmettre le rapport au concepteur pour commentaires
    → Essai jugé acceptable si la résistance géotechnique de chaque pieu $>$ charge d'essai

- Essai de traction
  - Peut être remplacé par des essais dynamiques plus une analyse CAPWAP à raison d'une analyse CAPWAP par essai dynamique (doit être validé par un essai de traction par pont)
  - Ingénieur spécialisé en géotechnique de l'entrepreneur doit :
    - → Remettre un avis sur montage proposé
    - → Remettre un avis sur montage réalisé (après avoir lui-même inspecté le montage)
    - → Superviser l'essai
    - → Transmettre les résultats préliminaires (48 heures après l'essai)
    - → Transmettre l'avis sur l'essai (7 jours après l'essai)
    - → Transmettre rapport final (6 semaines après l'essai). Transmettre le rapport au concepteur pour commentaires
  - Prendre connaissance des exigences de la norme ASTM D3689
    - → Utiliser la méthode Quick Test
    - → Coefficient de tenue: utiliser celui de la norme CAN/CSA-S6
  - Essai similaire à l'essai de chargement. L'essai doit se poursuivre jusqu'à la charge de conception à l'état limite ultime (ÉLUL) divisée par le coefficient de tenue géotechnique (degré de compréhension typique) prescrit à la norme CAN/CSA-S6
  - Montage selon la norme
  - Essai jugé acceptable si la résistance géotechnique de chaque pieu supérieure à la charge d'essai et que la déformation du pieu n'excède pas la déformation élastique du pieu de plus de 5 mm
- Essai de chargement statique
  - Ingénieur spécialisé en géotechnique de l'entrepreneur doit :
    - → Remettre un avis sur montage proposé
    - → Remettre un avis sur montage réalisé (après avoir lui-même inspecté le montage)
    - → Superviser l'essai
    - → Transmettre les résultats préliminaires (48 heures après l'essai)
    - → Transmettre l'avis sur l'essai (7 jours après l'essai)
    - → Transmettre rapport final (6 semaines après l'essai). Transmettre le rapport au concepteur pour commentaires
  - Prendre connaissance des exigences de la norme ASTM D1143/D1143M
    - → Utiliser la méthode Quick Test
  - Matériel
    - → Vérifier la conformité des documents relatifs à l'essai : plan descriptif du montage, certificats récents (moins de 6 mois) d'étalonnage des manomètres, des vérins, des cellules de charge et des extensomètres
    - → Montage : l'entrepreneur doit choisir l'un des 3 montages permis par la norme
      - Plate-forme installée sur la tête du pieu : prévoir une légère surcharge
      - Plaques de répartition en acier : épaisseur $>$ 50 mm
    - → Extensomètres
      - Installés à 180° l'un de l'autre
      - Fixés à une poutre repère dont les supports sont à au moins 2,5 m du pieu d'essai
      - Utiliser le niveau d'arpentage comme deuxième méthode de contrôle

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Chargement
  - → Selon des paliers (accroissements de 6 % de la charge d'essai)
  - → Chaque accroissement de charge se fait toutes les 10 minutes
    - Affaissement du pieu à mesurer tout juste avant et tout juste après l'accroissement
    - Maintenir la charge durant la période de 10 minutes
- Période d'attente
  - → 5 minutes (à moins d'une indication contraire dans les plans et devis)
  - → Mesurer l'affaissement du pieu à 2,5 et à 5 minutes
  - → Maintenir la charge d'essai durant la période de 5 minutes
- Déchargement
  - → Selon des paliers (décroissements de 25 % de la charge d'essai)
  - → Chaque décroissement de charge se fait toutes les 5 minutes
    - Rebondissement du pieu à mesurer tout juste avant et tout juste après décroissement
    - Maintenir la charge durant la période de 5 minutes
  - → Mesurer le rebondissement du pieu après 2,5 et 5 minutes après déchargement complet
- Suivi de l'essai
  - → Remplir le formulaire V-2058 « Essai de chargement d'un pieu - Données »
  - → Essai jugé acceptable si l'affaissement de chaque pieu à la fin de la période d'attente est inférieur au tassement à la rupture « S »; sinon, remplir le formulaire V-2057 « Essai de chargement d'un pieu - Graphique »
  - → Essai jugé acceptable si la résistance géotechnique de chaque pieu supérieure à la charge d'essai

Arasement

- À faire qu'après l'enfoncement de tous les pieux et des essais pour déterminer la résistance géotechnique
- Pieux remplis de béton : arasement à faire avant le bétonnage
- Arasement à l'horizontale et à l'élévation prévue dans les plans, tolérance : ± 25 mm
- Après arasement
  - Vérifier que la partie visible des pieux n'est pas endommagée, sinon consulter concepteur
  - Têtes des pieux en bois : 2 couches de créosote et 1 couche d'enduit bitumineux
  - Pieux tubulaires non remplis de béton : poser plaque en acier sur le dessus des pieux

CHAPITRE 4

OUVRAGES EN BÉTON

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **4-1**

NORMES **4-2**

4.1 MATÉRIAUX **4-3**

4.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ **4-4**

4.3 MISE EN ŒUVRE **4-11**

4.3.1 Coffrages 4-12
4.3.2 Étaiement 4-36
4.3.3 Armature 4-40
4.3.4 Ancrages 4-62
4.3.5 Béton 4-66
4.3.6 Imperméabilisation et enduit de surface 4-150
4.3.7 Bétonnage par temps chaud 4-153
4.3.8 Bétonnage par temps froid 4-157
4.3.9 Bétonnage sous l'eau 4-171

FIGURES

Figure 4.3-1 Terminologie d'un coffrage 4-15
Figure 4.3-2 Localisation d'attaches de coffrages – coffrages de grandes dimensions 4-16
Figure 4.3-3 Attaches de coffrage 4-22
Figure 4.3-4 Support métallique et selle ajustable en hauteur 4-25
Figure 4.3-5 Support de coffrage ajustable de type « Borg » 4-28
Figure 4.3-6 Tirant type 4-29
Figure 4.3-7 Dispositif de levage type 4-31

Figure 4.3-8 Terminologie d'un étaiement 4-37
Figure 4.3-9 Cales types en plastique 4-51
Figure 4.3-10 Tolérances de pose de l'armature – exemple d'une poutre 4-54
Figure 4.3-11 Formulaire F311.1 « Mise en place de l'armature » 4-59
Figure 4.3-12 Ancrage pour réparation avec coffrages et surépaisseur 4-63
Figure 4.3-13 Aide-mémoire avant bétonnage 4-74
Figure 4.3-14 Bétonnage d'un élément élancé 4-84
Figure 4.3-15 Contrôle de déflexion d'un étaiement lors du bétonnage d'un tablier 4-87
Figure 4.3-16 Gousset type 4-98
Figure 4.3-17 Positions du vibrateur dans un coffrage vertical 4-130
Figure 4.3-18 Bétonnage par temps froid – protection de type 3 4-166

TABLEAUX

Tableau 4.3-1 Tolérances de construction du béton coulé en place 4-18
Tableau 4.3-2 Caractéristiques de l'armature (mesures métriques) 4-40
Tableau 4.3-3 Caractéristiques de l'armature (nomenclature en mesures impériales) 4-41
Tableau 4.3-4 Marques d'identification des aciéries canadiennes détenant un certificat ISO 4-43
Tableau 4.3-5 Diamètre de courbure minimal 4-44
Tableau 4.3-6 Tolérances de pose de l'armature – béton coulé en place 4-53
Tableau 4.3-7 Type de protection à utiliser pour tous les éléments de pont, sauf les dalles sur poutres et les tabliers construits sur étaiements (dalles épaisses, tabliers en béton précontraint par post-tension et portiques) 4-167
Tableau 4.3-8 Type de protection à utiliser pour une dalle sur poutres 4-169
Tableau 4.3-9 Type de protection à utiliser pour le bétonnage d'une dalle épaisse, d'un tablier précontraint en place et d'un portique 4-170

PHOTOGRAPHIES **4-177**

AIDE-MÉMOIRE **4-185**

INTRODUCTION

Deux matériaux servent principalement à la construction des ponts : le béton et l'acier. Tandis que les éléments d'acier, comme les poutres de pont, sont produits dans les conditions contrôlées d'un atelier, les éléments de béton sont, pour leur part, presque toujours fabriqués en chantier. Il est donc particulièrement important que le surveillant prête une attention particulière à toutes les étapes menant à la réalisation de ces ouvrages.

Les normes du Ministère fixent les caractéristiques que doivent présenter les bétons utilisés pour les travaux sur les ponts : ce sont les exigences relatives au matériau. Le CCDG et le devis spécial précisent, quant à eux, les exigences de réalisation et de mise en œuvre. Dans le cas du béton, ces exigences sont de la première importance.

Plusieurs points doivent être contrôlés lors de la réalisation d'ouvrages en béton afin d'assurer la qualité requise. Ainsi, le béton doit être mis en place dans des coffrages solides et ayant les bonnes dimensions, les armatures doivent être installées correctement, l'équipement employé pour la mise en place du béton doit empêcher la ségrégation de celui-ci et finalement, une cure adéquate doit être effectuée. Plusieurs autres exigences s'appliquent à la réalisation d'ouvrages en béton et nous verrons l'ensemble de celles-ci dans le présent chapitre.

Mentionnons que ce chapitre s'applique à tout type d'ouvrage en béton, en béton armé ou en béton précontraint réalisé en tout ou en partie avec du béton coulé en place ou préfabriqué à l'exception des réparations effectuées avec du béton projeté. En plus des éléments de pont comme les semelles, les unités de fondation, le tablier, les poutres, les chasse-roues, les trottoirs, les pistes cyclables, les glissières et les dalles de transition, ce chapitre inclut aussi le béton des bases d'étanchement, des coussins de support, des pieux, des murs de soutènement, des ponceaux, des revêtements de protection, des massifs de fondation, des massifs d'ancrage, des glissières en béton pour chantier, etc.

Arpentage

Dès le début des travaux, le surveillant établit le piquetage de base, soit un point de chaînage ou de coordonnées avec deux axes principaux et un repère de nivellement. Il remet ensuite à l'entrepreneur un croquis indiquant les points qu'il a implantés. Il doit s'assurer que l'entrepreneur complète le piquetage en reportant sur le terrain tous les points complémentaires nécessaires à la construction de l'ouvrage; ce piquetage complémentaire doit être dessiné sur un plan d'implantation dont une copie doit être remise au surveillant. Le surveillant vérifie ensuite le plan d'implantation, l'exactitude de la distance entre les chaînages si plus d'un chaînage est utilisé et la concordance des élévations entre les différents repères de nivellement; il doit faire part à l'entrepreneur de toute erreur qu'il pourrait déceler. Le surveillant peut se référer à l'article 5.3 « Piquets et repères d'arpentage » du CCDG pour obtenir plus de détails à ce sujet.

L'entrepreneur doit s'assurer tout au long des travaux que les ouvrages sont positionnés avec précision, notamment avant le bétonnage des semelles et des unités de fondation. Le surveillant doit, quant à lui, veiller à ce que l'entrepreneur fasse ces vérifications.

Jet d'air ou jet d'abrasif humide

Puisque l'utilisation d'un jet d'air ou d'un jet d'abrasif humide est rencontrée à maintes reprises pour traiter les surfaces, un rappel est fait ici sur l'importance de ne pas souiller les surfaces pour préserver la qualité du lien entre deux matériaux; cette façon de faire permet d'alléger le texte de ce chapitre.

L'entrepreneur doit démontrer l'efficacité du filtre installé sur le compresseur à capter l'huile afin que les surfaces traitées ne soient pas souillées. Cette démonstration se fait au moyen d'une guenille blanche sur laquelle le jet est dirigé; toute trace d'huile détectée sur la guenille est un signe que le filtre est inefficace.

NORMES

Afin d'alléger le texte, la description complète des normes citées dans le présent chapitre est faite ici. Ces normes sont :

- CAN/CSA-S269.1 : Ouvrages provisoires et coffrages
- CAN/CSA A23.1 : Béton – Constituants et exécution des travaux
- ASTM C 685 : *Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing*
- ASTM D 1751: *Standard Specification for Preformed Expansion Joint Filler for Concrete Paving and Structural Construction (Nonextruding and Resilient Bituminous Types)*
- ASTM D 1752: *Standard Specification for Preformed Sponge Rubber Cork and Recycled PVC Expansion Joint Fillers for Concrete Paving and Structural Construction*
- Norme 3101 du Ministère :Bétons de masse volumique normale
- Norme 3402 du Ministère :Pavés
- Norme 3501 du Ministère :Matériaux de cure
- Norme 3601 du Ministère :Imperméabilisants à béton
- Norme 31101 du Ministère : Enduits de surface
- Norme 3801 du Ministère :Mortiers cimentaires en sac

- Norme 3901 du Ministère :Coulis cimentaires
- Norme 5101 du Ministère :Armature pour les ouvrages en béton
- Norme 31001 du Ministère : Doublure de coffrage

Mentionnons que les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes (mentionnées ci-haut) émises par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

4.1 MATÉRIAUX

Béton

Les bétons employés au Ministère sont ceux décrits dans le tableau 3101-2 de la norme 3101 « Bétons de masse volumique normale » du Tome VII « Matériaux » des normes. Ces bétons ne doivent pas être confondus avec ceux présentés dans le tableau 3101-1, qui concernent les ouvrages routiers et qui ne sont pas conçus pour une durabilité équivalente à celle exigée des ouvrages d'art.

Tous les bétons employés pour les ouvrages d'art sont fabriqués à partir de ciments de type GU (General use) contenant de la fumée de silice, dont l'abréviation utilisée dans le tableau correspond à SF (Silica fume). On utilise alors le terme ciment binaire. Certains de ces ciments sont aussi mélangés avec un autre ajout, qui peut être soit des cendres volantes, dont l'abréviation est F (Fly ash), soit des laitiers de haut-fourneau dont l'abréviation est S (Slag). On utilise, dans ces deux derniers cas, le terme ciment ternaire, car il y a alors trois composants. Ainsi, un ciment qui porte la nomenclature GUb-SF est un ciment binaire contenant un ciment GU et de la fumée de silice tandis qu'un ciment qui porte la nomenclature GUb-F/SF est un ciment ternaire avec fumée de silice, et cendres volantes.

Pour la plupart des éléments, le choix d'utiliser un ciment binaire ou ternaire pour le béton de l'ouvrage revient à l'entrepreneur et à son fournisseur de béton. Par contre pour certains éléments particuliers comme les dalles, les plans et devis exigent l'utilisation d'un ciment ternaire, car ce dernier possède certains avantages comme une meilleure maniabilité, un dégagement de chaleur moins intense et une fissuration moins prononcée. L'entrepreneur doit toutefois tenir compte des périodes de limitation associées à l'utilisation du ciment ternaire. Le respect de ces limites est important, car, par temps froid, l'utilisation du ciment ternaire s'avère désavantageux; en effet, le dégagement de chaleur est moins intense et le développement des caractéristiques de durabilité est plus lent avec ce type de ciment.

Le tableau 3101-2 de la norme 3101 ne donne pas de « recettes » toutes faites pour la fabrication des bétons; le tableau contient plutôt des limites ou des intervalles à respecter. Il revient, encore une fois à l'entrepreneur et à son fournisseur de béton de déterminer les quantités exactes de chacun des constituants du béton (eau, granulats, ciment) nécessaires pour répondre aux exigences de la norme, en fonction des particularités des constituants employés. En plus des exigences de la norme

concernant les matériaux, précisons que le béton devra aussi convenir aux exigences de mise en place et de maintien des caractéristiques, comme le mentionne la section subséquente « Assurance de la qualité ».

Autres matériaux

La Direction générale du laboratoire des chaussées (DGLC) du Ministère publie annuellement la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

Le surveillant doit se servir de cette liste pour vérifier si un produit proposé par l'entrepreneur est acceptable. La liste couvre la plupart des catégories de produits nécessaires à la construction ou à la réparation d'un pont. Bien que cette liste ne soit pas contractuelle, seuls les produits y figurant devraient être utilisés par l'entrepreneur; ce dernier se plie généralement de bonne grâce à cette façon de faire (voir la section « Généralités » au début de ce manuel).

4.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport.*

Le contrôle de la qualité du béton au chantier est normalement réalisé par un laboratoire de matériaux, mais il demeure sous la responsabilité du surveillant. Pour plus de détails sur le contrôle de la qualité du béton, consulter le *Guide de contrôle de la qualité du béton*, disponible aux Publications du Québec. Il est donc de la responsabilité du surveillant de faire appliquer les exigences de ce guide.

Mentionnons tout de même certaines informations utiles concernant l'assurance de la qualité du béton, des armatures et de la bétonnière mobile.

Il est de la responsabilité de l'entrepreneur d'établir les proportions du mélange de béton de façon à obtenir entre autres les propriétés rhéologiques nécessaires à la mise en place du béton d'une dalle au moyen d'un finisseur automoteur ou d'une règle vibrante. L'entrepreneur ne peut pas se réfugier derrière l'argument selon lequel les caractéristiques du béton sont fixées par le Ministère pour se dérober à ses obligations.

Lors de la livraison du béton au chantier, le CCDG exige, pour certaines coulées, qu'un technicien mandaté par l'entrepreneur soit présent pour procéder à la vérification préalable et, s'il y a lieu, à l'ajustement du mélange. Ce technicien doit détenir une certification Technicien d'essai du béton au chantier – niveau 1 décerné par l'*American Concrete Institute* (ACI). Il est possible de vérifier la certification d'un technicien sur le site Internet de l'ACI à l'adresse suivante :

https://www.concrete.org/

Le technicien responsable de la vérification préalable doit être présent au chantier. Cette exigence n'est pas spécifiquement écrite au CCDG, mais la section 15.4.2.1.4 « Vérification préalable à la réception du béton » exige que l'échantillonnage soit exécuté au point de décharge. L'échantillonnage doit donc être effectué selon les mêmes conditions que celles prévues pour le contrôle de réception réalisé par le Ministère selon la section 15.4.2.1.5 « Contrôle de réception ».

Le surveillant doit refuser que la vérification préalable à la réception soit effectuée à l'usine de production, car le transport peut avoir une grande influence sur les propriétés du mélange. Pour certains mélanges de béton, un dosage de superplastifiant peut même avoir lieu au chantier. Si la vérification préalable n'est pas faite au chantier et que seul le contrôle de réception a lieu au chantier, le surveillant se trouve alors à assumer des responsabilités qui devraient normalement être assumées par l'entrepreneur.

L'entrepreneur est responsable de confectionner des cylindres témoins lorsque ceux-ci sont demandés au CCDG. Ces cylindres peuvent être exigés pour plusieurs occasions (mentionnons, entre autres, l'enlèvement des étaiements, la circulation sur le béton, la fin de la période de cure par temps froid, etc.). Trois cylindres sont requis pour permettre d'avoir toujours une résistance moyenne sur deux cylindres advenant le cas où un premier cylindre serait cassé avant l'atteinte de la résistance minimale exigée.

Lorsque le CCDG exige la vérification de la résistance du béton sur cylindres témoins et que l'entrepreneur a négligé d'en prendre, cette situation doit être traitée selon la section 7.10 « Travaux défectueux » du CCDG.

Essai de convenance

Un essai de convenance doit être réalisé lorsque du béton de type V-S, XIII, XIV-C, XIV-R, XV ou XVII est employé et doit être pompé. Dans le cas où ces mêmes bétons sont mis en place sans utiliser de pompe, l'essai de convenance n'est pas requis.

Le but de l'essai de convenance est d'ajuster le mélange aux conditions particulières de la mise en place, à savoir le temps de transport, la température ambiante et l'équipement utilisé pour le transport du béton, et, surtout de s'assurer des caractéristiques du béton après pompage.

Lors de l'essai de convenance, les mesures de la teneur en air dans le béton sont prises avant et après pompage, de manière à s'assurer de la conformité du béton tout au long de son transport. Lors de la coulée dans l'ouvrage, la mesure de la teneur en air n'est effectuée qu'à la sortie du camion, car il est alors difficile d'échantillonner à la sortie de la pompe. Le CCDG précise, par contre que les exigences de la teneur en air lors de la coulée dans l'ouvrage doivent être ajustées en fonction de la perte en air mesurée à l'essai de convenance. Par exemple, si, lors d'un essai de convenance on mesure une teneur en air de 6 % avant pompage et une teneur en air de 5 % après pompage, la perte en air de 1 % servirait à corriger l'exigence de teneur en air demandée lors de la coulée, l'exigence mesurée avant pompage deviendrait alors

de 6 % à 9 % d'air (dans le cas d'un béton de type V-S, pour lequel l'exigence est de 5 à 8 % d'air à la norme). Le but de cette correction de l'exigence est d'obtenir un béton qui correspond à nos exigences une fois placé dans l'ouvrage.

À l'inverse, si un gain d'air est constaté lors du pompage, ce qui arrive dans approximativement 10 % des cas de pompage, l'exigence de teneur avant pompage lors de la coulée n'est pas ajustée. Dans notre exemple donc, si on passait de 5 % d'air à 6 % d'air après pompage à l'essai de convenance, l'exigence demeurerait entre 5 et 8 % d'air avant pompage pour la coulée dans l'ouvrage.

Il convient toutefois de mentionner que des variations importantes de teneur en air durant le pompage peuvent être indicatrices d'un problème au niveau de l'équipement de pompage ou de la formule de béton employée. La cause des variations devrait, dans ce cas, être analysée et déterminée afin d'apporter les correctifs nécessaires.

L'essai de convenance doit être représentatif des conditions de mise en place prévues avec la pompe. La pompe utilisée lors de l'essai de convenance doit donc être équipée du même modèle de système de pompage que celle prévue lors du bétonnage de l'ouvrage. De plus, la pompe doit avoir un mât de distribution d'une hauteur au moins égale à celle de la pompe employée lors du bétonnage de l'ouvrage; ce mât doit être déployé, lors de l'essai de convenance, de façon à ce que sa dernière portion (représentant au moins la moitié de la hauteur maximale du mât) soit en position verticale.

Le même système de pompage et la hauteur du mât sont des éléments essentiels pour que l'essai de convenance soit significatif compte tenu de leurs impacts importants sur le réseau d'air. De même, la hauteur de la dernière portion du mât a un impact crucial sur la qualité du réseau d'air (plus la chute de béton est importante, plus le réseau d'air a tendance à se dégrader). Bref, il s'agit de faire l'essai de convenance dans les conditions les plus défavorables possibles et laisser ensuite, lors du bétonnage de l'ouvrage, toute la latitude à l'entrepreneur quant au déploiement du mât de la pompe. Autrement dit, en autant que le système de pompage est le même et que la pompe ait un mât au moins aussi haut qu'à l'essai de convenance, le surveillant n'a pas à se préoccuper de la pompe lors du bétonnage de l'ouvrage.

De plus, afin de s'assurer que la dernière portion du mât de distribution de la pompe demeure pleine de béton durant le bétonnage et les arrêts de bétonnage, donc d'éviter que le béton ne tombe en chute libre (et endommage le réseau d'air), l'entrepreneur doit installer les trois équipements suivants à la fin de la ligne de la pompe :

- section réductrice d'au moins 20 % du diamètre;
- section en « S » formée de 2 coudes à 45° d'au moins 275 mm de longueur chacun;
- dispositif de fermeture.

Plusieurs modèles de sections réductrices et de sections en « S » existent chez les entrepreneurs. Lors de l'essai de convenance, la ligne de pompage doit comporter une

section réductrice identique, matière de pourcentage de réduction, à celle qui sera employée pour le bétonnage. En ce qui a trait aux aspects de la section réductrice et de la section en « S », celles-ci devraient être les mêmes, bien que cette exigence ne soit pas spécifiquement mentionnée dans le CCDG.

L'essai de convenance est réalisé pour chaque type de béton et pour chaque formule de mélange. Ainsi, si un entrepreneur bétonne une dalle avec un béton de type V-S par pompage, et qu'il coule ensuite des glissières avec un béton de type XIII, toujours par pompage, deux essais de convenance seront requis. De même, si un entrepreneur réalise par pompage une culée avec un béton de type V-S contenant du ciment ternaire et qu'il doit ensuite utiliser un béton de type V-S contenant du ciment binaire à cause des restrictions de périodes de coulée, un second essai de convenance sera nécessaire.

Mentionnons finalement que, pour être payé, un essai de convenance doit être valide et que le béton avec lequel il est effectué doit être utilisé dans l'ouvrage.

L'essai peut se dérouler sur l'ouvrage, sur le chantier, sur un autre chantier de l'entrepreneur où le même mélange de béton est utilisé, ou encore directement à l'usine du producteur de béton, pourvu que les conditions de bétonnage, en particulier le temps de transport du béton plastique, soient ajustées pour calquer celles prévues lors du bétonnage au chantier. Mentionnons qu'il est précisé au CCDG que l'essai de convenance peut s'effectuer dans la semelle ou la dalle de transition de l'ouvrage à construire, car ces éléments sont peu affectés par les intempéries. Il y a donc peu de conséquences lorsque le béton de l'essai de convenance ne correspond pas entièrement aux exigences, puisque les caractéristiques de celui-ci seront fort probablement supérieures à celles d'un béton de type V normalement utilisé pour les semelles et les dalles de transition.

L'essai de convenance est effectué par l'entrepreneur; les essais réalisés sur le béton plastique et durci sont effectués par le laboratoire de l'entrepreneur et les frais de réalisation de ces essais sont inclus dans le paiement de l'essai de convenance.

Armatures

Dès la première réunion de chantier, le surveillant doit demander à l'entrepreneur le nom de l'aciérie canadienne où il compte s'approvisionner; cette aciérie doit détenir un certificat ISO 9001:2000. Aucune attestation de conformité n'est exigée et aucun contrôle de réception n'est à faire. Les aciéries canadiennes détenant un certificat ISO sont Mittal (usines de Longueuil et de Contrecœur) et Gerdeau (usines de Cambridge et de Whitby).

Mentionnons que l'entrepreneur doit s'approvisionner exclusivement auprès d'aciéries canadiennes détenant un certificat ISO. Cette exigence du CCDG est importante compte tenu des problèmes de qualité parfois associés à l'utilisation d'armature provenant des autres aciéries et surtout, des échéanciers très serrés de réalisation des

travaux. En effet, rappelons que l'utilisation d'armature de provenance étrangère entraînait des délais importants relatifs au contrôle de réception qui devait être fait à chaque livraison d'armature au chantier.

Le surveillant doit vérifier au chantier, à la livraison des armatures, si l'armature réellement livrée au chantier provient bien de l'usine canadienne identifiée par l'entrepreneur. Consulter à cet effet les marques d'identification des armatures dans la section « Mise en œuvre ».

Bétonnière mobile

La bétonnière mobile est une usine mobile de production de béton montée sur un camion ou une remorque. Elle sert à la fois de moyen de transport pour l'eau, le liant, les granulats et les adjuvants ainsi que d'usine de production de béton prêt à l'emploi.

La bétonnière mobile comprend une benne pour le liant munie d'une roue distributrice, une benne pour les gros granulats, une benne pour les granulats fins, un convoyeur pour le transport du liant et des granulats, un réservoir à adjuvant, un réservoir à eau, une auge de malaxage dotée d'une vis sans fin ainsi que des équipements de mesure et de contrôle. La capacité de production d'une bétonnière mobile est de 6 à 7 m^3 par chargement, ce qui correspond à une production horaire maximale avoisinant les 15 m^3 si deux bétonnières mobiles sont à pied d'œuvre.

Bétonnière mobile – utilisation

Généralement utilisée pour de petites applications, la bétonnière mobile est le seul moyen efficace de produire certains mélanges de béton comme les bétons au latex (bétons de type XVI-5 ou XVI-15). La bétonnière mobile peut également servir à produire les bétons projetés par procédé à sec et par procédé humide, le béton autoplaçant (bétons de type XIV-C, XIV-R et XIV-S) ainsi que le béton antilessivage (béton de type XV).

Bétonnière mobile – fonctionnement

Les constituants du béton fabriqué au moyen d'une bétonnière mobile sont dosés au volume.

Les gros granulats et les granulats fins s'écoulent des bennes et sont dirigés vers l'arrière de la bétonnière au moyen d'un convoyeur; des trappes contrôlent le débit des granulats déversés sur le convoyeur.

La quantité de liant qui se déverse sur le convoyeur à partir de la benne correspondante est mesurée par un alimentateur rotatif appelé « roue à ciment »; sur les bétonnières plus récentes, la roue à ciment est remplacée par une vis à ciment. La quantité de liant déversée est proportionnelle à la vitesse de rotation de la roue. Puisque la roue et le convoyeur sont entraînés par le même mécanisme, le dosage du liant et des granulats demeure le même quelle que soit la vitesse de la roue ou du convoyeur. La roue à ciment est munie d'un compteur de tours qui permet de mesurer la quantité de liant.

Le convoyeur déverse le liant, les gros granulats et les granulats fins dans l'auge de malaxage située à l'arrière de la bétonnière mobile. L'eau de gâchage et les adjuvants sont ajoutés dans l'auge de malaxage alors que l'adjuvant entraîneur d'air est, quant à lui, additionné à l'eau de gâchage.

La vis sans fin remonte le béton à l'autre extrémité de l'auge de malaxage. Le béton qui en sort est alors prêt à utiliser.

Bétonnière mobile – certifications

Le béton produit par une bétonnière mobile doit provenir d'un fabricant détenant un certificat de conformité délivré par le BNQ conformément au fascicule de certification BNQ 2621–905/2012 « Béton prêt à l'emploi – Programme de certification (élaboré à partir des exigences des chapitres 4, 5 et 8 de la norme CSA A23.1-F09/A23.2-F09) ».

De plus, un certificat d'étalonnage datant de moins d'un an doit être remis au surveillant pour chaque bétonnière mobile et pour chaque mélange à produire. Puisque la procédure d'étalonnage qu'exige le protocole de certification du BNQ renvoie à la norme ASTM C 685, les tolérances permises pour les différents constituants sont :

- liant (% en masse) : 0 à + 4;
- gros granulats (% en masse) : ± 2;
- granulats fins (% en masse) : ± 2;
- adjuvants (% en masse ou en volume) : ± 3;
- eau (% en masse ou en volume) : ± 1.

Tout changement dans les constituants d'un mélange nécessite un nouveau certificat d'étalonnage.

Procédure d'étalonnage

Les caractéristiques du mélange de béton à obtenir sont fixées de façon volumétrique dans les normes du Ministère, c'est-à-dire en kg/m³. La bétonnière mobile, contrairement aux autres méthodes de production, produit du béton selon un processus en continu. Une conversion du dosage volumétrique en kg/m³ (liant, gros granulats et granulats fins) doit être effectuée vers un débit en kg/min. Le principe de la procédure d'étalonnage consiste à ajuster le débit d'écoulement des granulats en fonction du débit du liant, qui lui est constant pour chaque bétonnière mobile. Le débit du liant varie, par contre, d'une bétonnière mobile à une autre, ce qui explique qu'un certificat d'étalonnage soit nécessaire pour chaque bétonnière.

Il faut tout d'abord déterminer le débit du liant en kg/min. Pour ce faire, il suffit de peser la quantité de liant qui s'écoule de la benne correspondante et le nombre de tours enregistré sur le compteur de tours de la roue à ciment en une minute. Lorsque le débit du liant est connu, il suffit ensuite d'ajuster l'ouverture des trappes des deux bennes à

granulats de façon à ce que la quantité de granulats désirée se déverse sur le convoyeur. Le débit de l'eau est finalement ajusté en fonction du rapport eau/liant désiré.

Voici un exemple d'application :

Un mélange de béton comportant 400 kg/m³ de liant, 1000 kg/m³ de gros granulats et 800 kg/m³ de granulats fins doit être réalisé au moyen d'une bétonnière mobile. La quantité de liant qui s'écoule en 100 tours de la roue à ciment est établie à 170 kg. Il faut ensuite ajuster l'ouverture de la trappe de la benne des gros granulats, de sorte que 425 kg de granulats s'écoulent lorsque la roue à ciment indique 100. La même procédure est répétée avec les granulats fins.

Cet exemple démontre bien la nécessité d'obtenir un certificat d'étalonnage pour chaque mélange à produire, car l'étalonnage détermine les proportions de chaque matériau à introduire dans le mélange de béton.

Le débit de l'eau et des adjuvants est établi en fonction du temps mesuré pour réaliser 100 tours de la roue à ciment.

Bétonnière mobile – rôle du surveillant

Le surveillant n'a pas besoin d'être présent lors de l'étalonnage de la bétonnière mobile, mais il doit, par contre, s'assurer d'obtenir le certificat de conformité à la norme BNQ et le certificat d'étalonnage de la part de l'entrepreneur. Étant donné leur importance, ces documents devraient normalement être reçus au moins quelques jours avant le bétonnage.

Il est important de mentionner que le certificat de conformité délivré par le BNQ s'applique autant au béton projeté par procédé à sec qu'au procédé humide. En effet, pour le procédé à sec, bien que la certification BNQ de l'usine mobile ne concerne pas ce type de béton, il est exigé au CCDG que celle-ci doit tout de même être certifiée pour les autres bétons de façon à optimiser le fonctionnement de l'usine utilisée pour le béton projeté à sec.

Lors du bétonnage, le surveillant doit vérifier de temps à autre que les trappes des bennes à granulats sont bien positionnées aux valeurs indiquées sur le certificat d'étalonnage. Il peut arriver que l'opérateur fasse varier un peu le débit de l'eau si la quantité d'eau contenue dans les granulats fins change.

Il est important de mentionner que les essais effectués pour contrôler la qualité du béton sont les mêmes que ceux réalisés pour un béton produit en centrale. Par contre dans le cas du béton projeté par procédé sec ou humide, il faut se référer au chapitre 5 « Béton projeté » de ce manuel pour les essais à réaliser.

4.3 MISE EN ŒUVRE

Les tolérances de construction relatives au béton coulé en place ainsi que celles concernant la pose de l'armature sont traitées respectivement dans les sections 4.3.1 « Coffrages » et 4.3.3 « Armature » de ce chapitre.

Les exigences du CCDG relatives à l'épaisseur minimale de l'enrobage de l'armature sont nécessaires dans le cas peu fréquent où les plans et devis omettent de les indiquer.

Lorsque l'entrepreneur est autorisé par le surveillant à fixer des coffrages ou des ouvrages provisoires au béton existant, il doit le faire selon les indications du CCDG. Ces exigences sont nécessaires pour minimiser les dommages occasionnés par ces opérations. De plus, le surveillant se doit de bien évaluer la situation, notamment en vérifiant s'il serait possible de procéder autrement, avant de permettre à l'entrepreneur de fixer quoi que ce soit au béton de l'ouvrage.

Ces instructions sont valides pour la fixation de tout élément temporaire à une surface de béton existante, que ce soit pour des travaux de charpente métallique ou de coffrage.

Éléments en béton préfabriqués

Le CCDG exige que l'entrepreneur informe le surveillant, dans un délai minimal de quatre (4) semaines avant le début de la fabrication, du nom de l'usine où se fera la fabrication des éléments de murs et de ponceaux préfabriqués. Il est important que le surveillant avise, dès qu'il reçoit de l'entrepreneur le nom du fabricant, le chargé d'activité de la direction générale territoriale (DGT) pour que celui-ci organise la surveillance en usine avec la collaboration de la DGT où se situe l'usine de préfabrication. C'est cette dernière qui verra à mandater un représentant en usine pour effectuer le contrôle de la qualité

Une réunion préalable à la fabrication des éléments en béton préfabriqués (murs et ponceaux), regroupant les représentants de l'entrepreneur, du fabricant et du Ministère, doit être tenue dans les locaux de l'usine du fabricant au moins sept jours avant le début de la fabrication. Cette réunion n'a lieu qu'après qu'un délai de deux semaines se soit écoulé depuis la remise des documents requis décrits au CCDG et qu'après que ces derniers ne soient visés par le concepteur. Ces exigences du CCDG sont nécessaires car le but de la réunion est de discuter de la fabrication et non pas du contenu des documents requis. De plus, cette façon de faire nous assure d'avoir tous les documents valides lors du début de la fabrication.

Tous les documents requis doivent être remis au surveillant deux semaines avant la réunion préalable à la fabrication pour qu'ils puissent être analysés, modifiés au besoin par l'entrepreneur et visés par le concepteur lorsque requis avant la tenue de cette réunion. Le surveillant doit reporter la réunion si ces documents ne sont pas encore tous visés par le concepteur.

Le surveillant se doit d'inviter à la réunion le concepteur, les représentants du laboratoire (technicien et ingénieur responsable) mandatés pour le suivi des travaux dans l'usine et, s'il y a lieu, le représentant de la DGT du lieu d'emplacement de l'usine lorsque la fabrication se fait en dehors des limites de la DGT du surveillant. La présence de ce représentant est importante, car c'est lui qui, normalement, mandate le représentant du surveillant à l'usine. En effet, compte tenu du nombre peu élevé d'éléments en béton préfabriqués à réaliser chaque année dans les différentes directions générales territoriales, il est impossible que chacune de celles-ci développe l'expertise nécessaire dans ce sens. Le représentant du laboratoire, qui provient généralement d'un laboratoire local, représente le surveillant dans l'usine.

Afin d'éviter de mobiliser des ressources en permanence dans l'usine, le fabricant est tenu d'aviser le surveillant au début des travaux à l'usine (dans les faits, c'est plutôt le représentant du surveillant dans l'usine qui est avisé de la date précise du début de la fabrication).

À noter que dans les cas où plus d'une usine sert à la fabrication d'éléments pour un même contrat, les démarches expliquées ci-dessus doivent être répétées pour chacune des usines. Il faut en effet s'assurer que chacune des directions générales territoriales, où sont situées les usines, mandate un représentant du surveillant. La tenue d'une réunion dans chaque usine permettra aussi d'uniformiser le contrôle de la qualité et les façons de faire de même que d'assurer la coordination entre les divers intervenants du contrat.

4.3.1 Coffrages

Conception des coffrages

La conception et la mise en place des coffrages doivent respecter la norme CAN/CSA-S269.1 « Ouvrages provisoires et coffrages ». L'entrepreneur est tenu de s'y conformer afin de s'assurer que la capacité des coffrages est suffisante et, par ricochet, que la sécurité des ouvriers et des usagers de la route circulant à proximité est respectée.

L'article 6.6.3 « Plan d'ouvrages provisoires » du CCDG requiert également de l'entrepreneur qu'il fournisse au surveillant le plan des coffrages, signés par un ingénieur, dans les cas suivants :

- unité de fondation ayant une hauteur supérieure à 4 m. Ce cas s'applique aussi pour toute réparation ayant une hauteur supérieure à 4 m, effectuée sur une unité de fondation ou sur un mur de soutènement. Pour tout autre ouvrage ayant une hauteur inférieure à 4 m, le surveillant devrait à tout le moins vérifier que les ouvriers travaillent à partir d'un plan conçu et signé par un ingénieur;

- coffrage en porte-à-faux de la dalle sur poutres. Lorsqu'un finisseur automoteur doit circuler sur ce coffrage, le plan doit indiquer clairement l'emplacement des rails de roulement afin que le surveillant puisse valider l'installation des rails faite par l'entrepreneur;
- coffrages coulissants ou auto-élévateurs. Ces coffrages sont conçus pour s'appuyer sur le béton durci après la coulée et se repositionner en vue de couler plusieurs segments successivement;
- coffrages où le béton est coulé par pompage. L'utilisation d'une pompe augmente de façon importante la cadence de coulée. Une cadence plus rapide signifie une hauteur de béton frais plus importante à l'intérieur des coffrages et, donc, une pression accrue.

L'entrepreneur doit également remettre au surveillant une note de calcul détaillée des coffrages, signée par un ingénieur, pour les éléments de pont suivants :

- dalle sur poutres en porte-à-faux lorsque la largeur de ce dernier excède 750 mm. Cette exigence du CCDG vise à limiter la flèche permise à l'extrémité du coffrage en porte-à-faux afin de ne pas ajouter une surcharge excessive de béton, de préserver au mieux le profil longitudinal des rails de roulement lorsque ceux-ci sont localisés sur le coffrage en porte-à-faux et d'éviter la rotation de la poutre de rive sous les charges de construction (rotation latérale attribuable à l'appui des bielles de coffrages sur la partie inférieure des poutres). Dans ce dernier cas, la note de calcul peut spécifier l'ajout de contreventements temporaires entre la poutre de rive et la poutre suivante;
- dalle attenante à une phase de travaux non encore réalisée, dans le cadre d'une reconstruction de dalle sur poutres comprenant plusieurs phases, comme cela est mentionné au CCDG. Ce cas s'applique uniquement lorsque le rail de roulement de l'équipement de finition est localisé sur le coffrage. Cette exigence s'impose afin de préserver au mieux le profil longitudinal des rails de roulement.

Le premier point mentionné ci-dessus est particulièrement important lorsque le rail de roulement est installé sur le porte-à-faux, car une déflexion trop importante des porte-à-faux lors du bétonnage peut entraîner un manque de recouvrement généralisé sur le rang d'armature supérieur de la dalle. Il faut comprendre qu'un affaissement des rails attribuable au poids du béton sur le porte-à-faux abaisse l'ensemble de l'équipement de finition (règle vibrante ou finisseur automoteur), tandis que la dalle et les armatures restent au même niveau dans la partie centrale du tablier (à l'intérieur des poutres de rive). Comme l'affaissement dans ce cas est attribuable au poids du béton, il ne sera pas possible de constater ce problème lors de la passe à vide.

La note de calcul doit donc démontrer que la flèche maximale du coffrage est inférieure aux valeurs exigées. Bien que le plan des coffrages ne soit pas exigé explicitement, il fait tout de même partie intégrante des documents accompagnant la note de calcul. Ce plan doit indiquer clairement l'emplacement des rails de roulement afin que le surveillant puisse valider l'installation des rails faite par l'entrepreneur.

Tous les coffrages verticaux, tels ceux nécessaires à la construction de certains éléments comme une culée, une pile ou un mur de soutènement, doivent être conçus de manière à résister à la poussée latérale du béton plastique, laquelle est semblable à celle d'un fluide. La pression sur les coffrages à une certaine élévation est directement proportionnelle à la hauteur de béton plastique au-dessus de cette élévation. Ainsi, la pression sera deux fois plus importante à la base d'un coffrage rempli de 2 m de béton plastique que dans le cas d'un autre rempli à seulement 1 m de hauteur.

La hauteur de béton plastique est définie comme la différence entre l'élévation de la surface de béton plastique et celle où le béton a tout juste commencé à faire sa prise.

La hauteur de béton plastique varie constamment au cours du bétonnage; l'ajout de béton plastique la fait augmenter alors qu'à l'inverse, le béton qui fait prise a tendance à la faire diminuer. Si le niveau du béton plastique ajouté s'accroît plus rapidement que celui du béton qui commence à faire prise plus bas dans le coffrage, la hauteur de béton plastique augmente. Au contraire, si le niveau du béton plastique ajouté s'accroît moins rapidement que celui du béton qui commence à faire prise, la hauteur de béton plastique diminue.

L'élévation dans le temps du niveau du béton plastique ajouté est connue sous le terme « vitesse de bétonnage » et son unité de mesure est en mètres par heure (m/h). Ainsi, plus le volume de béton mis en place par heure est important dans un coffrage donné, plus la vitesse de bétonnage est élevée. De même, pour un certain volume de béton mis en place par heure, plus la section de l'élément à bétonner est petite, comme dans le cas d'une colonne, plus la vitesse de bétonnage est élevée.

L'élévation dans le temps du niveau du béton qui commence à faire prise est dépendante du temps de prise du béton utilisé. Le temps de prise est défini comme la période de temps comprise entre le malaxage des composants du béton et le début du passage de ce dernier d'un état liquide à un état solide ou autoportant. Plus le temps de prise est court, plus le béton se solidifie rapidement à l'intérieur du coffrage, diminuant d'autant la hauteur de béton plastique.

Il est important de mentionner que le temps de prise est fonction du type de béton utilisé, du fournisseur et de la température du béton. Une vigilance particulière s'impose dans le cas de certains bétons ayant un temps de prise plus long qu'à l'ordinaire, notamment les bétons de type XIII, XIV-C, XIV-R, XIV-S, XVII et tout autre béton auquel on a ajouté du retardant. De plus, le temps de prise doit être évalué en fonction de la température du béton prévue lors du bétonnage, car le temps de prise s'accroît au fur et à mesure que la température du béton descend. À titre d'exemple, pour une vitesse de bétonnage de 2 m/h, la poussée latérale du béton sur les coffrages s'accroît d'environ 30 % lorsque la température du béton passe de 20 °C à 10 °C.

La vitesse de bétonnage et le temps de prise du béton sont donc des données de base pour la conception d'un coffrage et, par conséquent, elles doivent être inscrites sur le plan des coffrages afin de permettre aux intervenants sur le chantier d'ajuster le rythme

du bétonnage à la capacité des coffrages. Compte tenu de l'impact important de latempérature du béton sur le temps de prise de ce dernier, la température du béton prévue lors du bétonnage devrait aussi être inscrite sur le plan des coffrages.

Si l'une ou l'autre de ces données n'est pas inscrite sur le plan des coffrages, comme c'est souvent le cas, le plan ne devrait pas être utilisé à moins qu'une note ne vienne préciser que le coffrage est conçu pour résister à la poussée de béton plastique sur la hauteur totale du coffrage.

La façon d'assurer la stabilité d'un coffrage dépend beaucoup de sa forme, de son emplacement, de son inclinaison, etc. Généralement, cette stabilité peut être assurée à l'aide de piquets plantés dans le sol, de contreventements ou d'étais; des câbles en acier peuvent aussi être utilisés dans le cas de coffrages verticaux élevés. Il faut surtout retenir que ces éléments doivent être placés de tous côtés, puisque les pressions du béton s'exercent dans toutes les directions.

La figure 4.3-1 montre un coffrage type de mur et la terminologie utilisée pour désigner ses différentes parties.

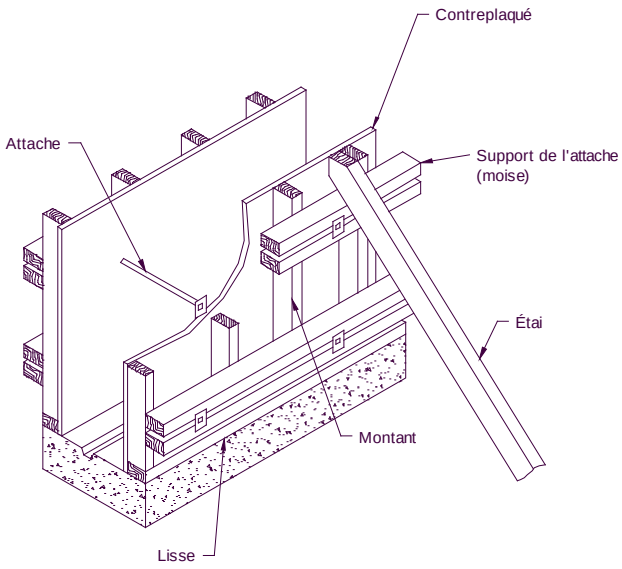


Figure 4.3-1 Terminologie d'un coffrage

Coffrages de grandes dimensions

Les coffrages d'éléments coulés en place ont généralement 2400 mm par 600 mm. Il arrive de plus en plus souvent que l'entrepreneur utilise des coffrages de plus grande dimension, notamment ceux fabriqués par PERI, ALUMA ou EFCO. Ces coffrages sont autorisés au CCDG sous certaines conditions. Une de ces conditions concerne le plan des coffrages; celui-ci doit être préparé par le fabricant des coffrages afin d'être assuré

que les exigences du Ministère soient plus facilement comprises. En effet, il est beaucoup plus facile d'obtenir le respect de nos exigences en faisant affaire à quelques fournisseurs plutôt qu'à un nombre considérable d'entrepreneurs. Ces exigences concernent principalement la disposition symétrique des coffrages (pour nuire le moins possible à l'esthétique de l'ouvrage compte tenu des marques laissées sur le béton durci) et le type de matériau utilisé pour ceux-ci (pour les mêmes raisons d'esthétisme compte tenu de l'apparence différente du béton selon que les coffrages soient en bois ou en acier).

Mentionnons qu'il est également mentionné à l'article 15.4.3.1.3 du CCDG que la partie centrale des attaches de coffrages et des tirants ne doit pas être localisée à l'intérieur de l'enrobage des armatures. Cette exigence s'applique pratiquement qu'aux coffrages de grandes dimensions, car ces derniers excèdent souvent les dimensions de l'ouvrage à bétonner. Il pourrait alors arriver que les attaches se situent entre les coffrages et l'armature d'où un enrobage, ou une épaisseur insuffisante de béton entre les coffrages et les attaches, insuffisant non pas aux extrémités des attaches mais plutôt sur le côté des attaches. La figure 4.3-2 montre un exemple de localisation incorrecte d'une attache de coffrages.

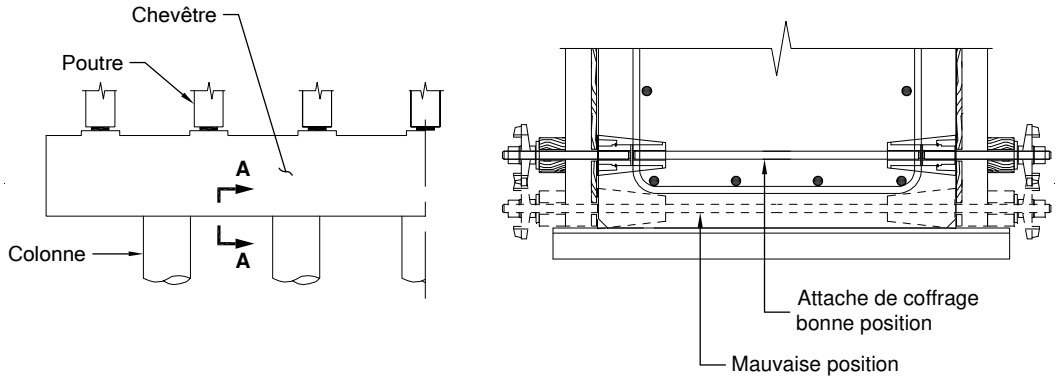


Figure 4.3-2 Localisation d'attaches de coffrages – coffrages de grandes dimensions

Approbation des documents

Le plan des coffrages doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG, notamment celles relatives au délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour étudier le plan et au nombre minimal de copies à fournir selon le format ISO A1.

Le plan des coffrages n'a pas à être visé ni par le surveillant ni par le concepteur, puisqu'ils concernant des ouvrages temporaires. Par contre, le surveillant doit les vérifier de façon à s'assurer que les ouvrages qui y sont décrits semblent convenir aux

fins spécifiées au CCDG et qu'ils correspondent bien aux dimensions de l'élément à bétonner. S'il juge que ce n'est pas le cas, il doit faire les interventions qu'il croit nécessaires auprès de l'entrepreneur. Il doit de plus s'assurer que les plans sont signés et scellés par un ingénieur.

Mise en place des coffrages

La mise en place des coffrages peut influencer grandement la qualité de l'ouvrage une fois celui-ci terminé. On peut, entre autres, penser au respect des dimensions et de l'alignement des éléments à bétonner. De plus, la rigidité et la stabilité des coffrages lors du bétonnage sont primordiales pour empêcher leur déformation ou même leur déplacement.

Les parois verticales opposées d'un coffrage sont reliées l'une à l'autre au moyen d'attaches de coffrages. Puisque celles-ci sont fabriquées selon la largeur exacte de l'élément à bétonner, il suffit de s'assurer que les attaches que les ouvriers utilisent sont bien celles qui correspondent à la largeur de l'élément à bétonner.

Chaque pièce composant le coffrage doit être saine. En effet, si une pièce en mauvais état cède lors du bétonnage, la charge reprise par celle-ci est transmise aux pièces adjacentes, augmentant d'autant celle de ces pièces, et une réaction en chaîne peut s'ensuivre.

Il est exigé au CCDG que les coffrages des chasse-roues, des trottoirs, des pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle et des glissières soient posés de façon à obtenir un profil régulier, de manière à ne pas refléter d'éventuels défauts du profil longitudinal de la dalle. Cette exigence s'applique surtout pour les ponts construits en béton précontraint par post-tension et les portiques pour lesquels l'obtention d'un profil conforme à celui spécifié sur les plans est plus difficile à atteindre, compte tenu des imprécisions relatives à l'affaissement de l'étaiement et à l'application de la précontrainte. Cette exigence s'applique également dans le cas de la reconstruction des côtés extérieurs, car le profil longitudinal d'un pont existant est rarement adéquat.

Si les coffrages sont trop profonds ou trop élancés pour permettre le bétonnage, l'inspection et l'enlèvement des débris à partir du dessus de ceux-ci, des ouvertures temporaires doivent être pratiquées selon un espacement d'au plus 1,5 m verticalement et d'au plus 3 m horizontalement. Ces espacements sont nécessaires pour respecter la hauteur de chute libre et le déplacement latéral permis du béton.

Des erreurs mineures lors de la mise en place des coffrages peuvent causer des désagréments sur le plan de l'esthétique de l'ouvrage alors que des erreurs un peu plus importantes peuvent mener à une capacité structurale insuffisante pour résister aux charges prévues. Dans ce dernier cas, une modification de l'ouvrage déjà construit peut en résulter avec des conséquences néfastes autant pour l'entrepreneur que pour le Ministère. La construction d'ouvrages minces ou élancés tels qu'une colonne ou un chevêtre devrait faire l'objet d'un maximum de précautions, puisqu'un faible déplacement du centre de gravité de ces éléments peut entraîner une diminution

importante de leur capacité. Même si l'ouvrage tel que construit est jugé apte à supporter les charges prévues par le concepteur, il est tout de même hypothéqué, puisqu'il n'a pas la même réserve de capacité que celle prévue lors de la conception.

Le rôle du surveillant est de veiller à ce que l'entrepreneur prenne toutes les précautions requises pour que les dimensions intérieures des coffrages correspondent aux dimensions des éléments à bétonner et que l'alignement des coffrages soit conforme aux plans. Si ces précautions sont prises dès le début de la mise en place des coffrages, on s'assure d'éviter des pertes de temps inutiles. Même si le surveillant se réserve le droit de refuser tout coffrage non conforme après l'envoi par l'entrepreneur de l'avis écrit de 24 heures précédant tout bétonnage, il devrait tout de même faire certaines vérifications sommaires lors de la mise en place des coffrages et faire part immédiatement de toute anomalie à l'entrepreneur.

Les tolérances de construction du béton coulé en place sont données à l'article 6 de la norme CAN/CSA A23.1. Elles sont reproduites au tableau 4.3-1.

Tableau 4.3-1 Tolérances de construction du béton coulé en place

Dimension de la section	**Tolérance dimensionnelle**
300 mm et moins Plus de 300 mm et moins de 1000 mm Égal ou plus de 1 000 mm	± 8 mm ± 12 mm ± 20 mm
Aplomb des coffrages verticaux	1:400 (40 mm max.)
Alignement relatif entre deux panneaux de coffrage	Surface apparente : 5 mm Autres surfaces : 20 mm
Écart d'horizontalité moyen	1:400 (40 mm max.)

Pour certains éléments cependant, des tolérances plus sévères peuvent être données aux plans ou dans les devis. À ce titre, la section 15.4.3.5.6 d) du CCDG précise une tolérance de -5 mm +10 mm pour les dalles et le devis spécial précise une tolérance de 3 mm pour l'élévation des blocs d'assise. D'autres tolérances peuvent également être données au devis spécial en fonction des exigences de chaque projet.

Dans le cas particulier d'une réparation réalisée sur une grande superficie, comme une réparation avec coffrages et surépaisseur, la vérification de l'épaisseur du nouveau béton à couler doit se faire au fur et à mesure de l'installation des coffrages. En effet, il peut être très difficile de vérifier cette valeur, surtout dans la partie inférieure des coffrages, une fois la totalité des coffrages installés.

Dans le cas où l'entrepreneur doit fournir le plan des coffrages au Ministère, un avis écrit signé par un ingénieur indiquant la conformité du coffrage doit être remis au surveillant par l'entrepreneur, après la mise en place des coffrages et avant le

bétonnage. Mentionnons que l'inspection des coffrages doit être faite par l'ingénieur qui signe l'avis en attestant la conformité; il ne peut pas déléguer cette activité à une autre personne, car le Ministère tient à ce que l'inspection soit faite par un ingénieur compte tenu des graves conséquences qui peuvent découler d'un vice de construction. Il n'est pas nécessaire que l'ingénieur signataire de cet avis soit celui qui a préparé le plan.

Étanchéité des coffrages

Les coffrages se doivent d'être étanches afin d'empêcher la perte de laitance lors du bétonnage. Cette exigence est importante pour éviter de salir des éléments de pont sous-jacents. De plus, des coffrages étanches éliminent une des causes de la formation de nids de cailloux en empêchant la perte d'un des composants du béton.

Les joints entre les panneaux du coffrage sont souvent la source première de perte de laitance; les panneaux doivent être par conséquent bien aboutés pour réduire ces pertes le plus possible. Les joints entre les panneaux et les poutres, ou les diaphragmes, sont une autre source de fuites; encore une fois, les panneaux doivent être bien assujettis à ces éléments de pont. Même si les panneaux sont bien mis en place, il peut rester des interstices susceptibles de causer des fuites. Ces interstices sont généralement bouchés au moyen d'une tôle mince. Dans le cas de l'utilisation d'un béton autoplaçant ou semi-autoplaçant (bétons de type XIV-C, XIV-R, XIV-S et XVII), il peut être nécessaire d'employer une mousse expansive pour boucher le moindre interstice compte tenu de la grande fluidité de ces types de béton.

4.3.1.1 Coffrages en bois

Les coffrages en bois sur les surfaces apparentes d'un ouvrage doivent être constitués de panneaux de contreplaqué ayant des dimensions d'au moins 2 400 mm de longueur et de 600 mm de largeur dans le but d'obtenir le moins de joints possible entre les panneaux. Les panneaux en aggloméré ne sont pas acceptés, car ils sont moins rigides que le contreplaqué, surtout lorsqu'ils sont imbibés d'eau; il est également très difficile d'enlever les panneaux en aggloméré et d'obtenir ainsi une belle surface de béton.

Une surface apparente est définie comme une surface située au-dessus du sol une fois les travaux terminés. L'épaisseur minimale des panneaux est fixée à 15 mm en vue d'avoir des panneaux qui ne se déformeront pas sous la pression du béton plastique. Les panneaux sont normalement installés à l'horizontale, puisqu'ils sont plus rigides selon le sens de la longueur.

Il est spécifié au CCDG que les éléments de bois doivent être à l'état neuf; cela ne signifie pas que les éléments de coffrage doivent être neufs. Il faut cependant que les coins et les rebords des panneaux de contreplaqué soient intacts et que leur face intérieure soit lisse, sans encoches ou trous. Il est de bonne pratique de se servir de panneaux de même condition sur la face apparente d'un élément. Il est aussi de bonne pratique d'utiliser les panneaux les mieux conservés sur la surface apparente d'un

élément et d'employer les autres sur des surfaces non apparentes, comme l'arrière d'une culée. Les autres pièces du coffrage ne doivent pas être déformées et il faut veiller à ce que leur capacité ne soit pas réduite par un trait de scie, une encoche ou toute autre détérioration du même type.

4.3.1.2 Coffrages métalliques

Étant donné leur coût plus élevé, les coffrages métalliques sont surtout utilisés dans le cas de travaux d'entretien importants et pour la construction de colonnes et de chevêtres. Ils servent aussi pour la construction en série d'éléments comme les glissières.

Il est important de vérifier le bon état des éléments structuraux du coffrage et de rejeter toute pièce présentant des fissures, des bosses importantes ou tout autre défaut pouvant affecter la capacité ou l'esthétisme de l'ouvrage à bétonner.

4.3.1.3 Accessoires des coffrages

Les parois verticales opposées des coffrages sont reliées l'une à l'autre au moyen d'attaches métalliques pourvues de cônes de plastique vissés à leurs extrémités. Ces cônes permettent d'obtenir un enrobage de béton au-dessus des attaches de coffrages une fois l'enlèvement des coffrages effectué.

Selon les exigences du CCDG, la longueur du cône des attaches doit être choisie de façon à ce que la distance entre la surface de béton et l'extrémité des attaches se situe entre 25 et 50 mm (les coffrages de grandes dimensions fabriqués par PERI ont des cônes de 100 mm). La limite de 25 mm permet d'éloigner suffisamment l'extrémité de l'attache de la surface de béton, tandis que la limite de 50 mm permet de limiter l'épaisseur du mortier servant à boucher le trou laissé par l'enlèvement du cône. Il faut, en effet, limiter l'épaisseur du mortier, compte tenu de la durabilité moindre de ce matériau si on la compare à celle du béton utilisé pour la réalisation de l'élément.

Le surveillant doit être vigilant quant à l'utilisation de cônes de plastique de plus de 50 mm de longueur. Il existe en effet sur le marché des cônes de plastique de 75 mm de longueur. Bien que leur utilisation pourrait paraître bénéfique, car elle permet d'avoir le même recouvrement que les armatures, leur utilisation doit être évitée, car ils conduisent à une zone de mortier qui pénètrera alors jusqu'au niveau des armatures. Or, le mortier ne possède pas les mêmes caractéristiques de durabilité que le béton, ce qui favorisera le transport des chlorures jusqu'au rang d'armature.

Dans le cas spécifique des coffrages de grandes dimensions par contre, un cône de plus grande dimension est toléré car le nombre d'attaches est grandement diminué par rapport aux attaches conventionnelles étant donné leur plus grande capacité individuelle.

La figure 4.3-3 illustre deux types d'attaches de coffrages couramment utilisées. Ces attaches sont l'attache avec boudins, connue sous le nom anglais de coil tie, et l'attache avec tige à haute résistance (PERI). Le cône en plastique des attaches à boudin est

vissé sur le ressort et la longueur de la tige filetée reliant l'attache et le coffrage doit être suffisamment long pour déborder au-delà du ressort afin de ne pas réduire la capacité de l'attache.

Mentionnons que l'attache simple, connue sous le nom de *snap tie* ne doit pas être utilisée à cause du grand nombre d'attaches requis comme cela est indiqué au devis spécial. En effet, les deux autres types d'attaches autorisés permettent de réduire le nombre d'attaches et, par conséquent, le nombre de trous à combler de mortier.

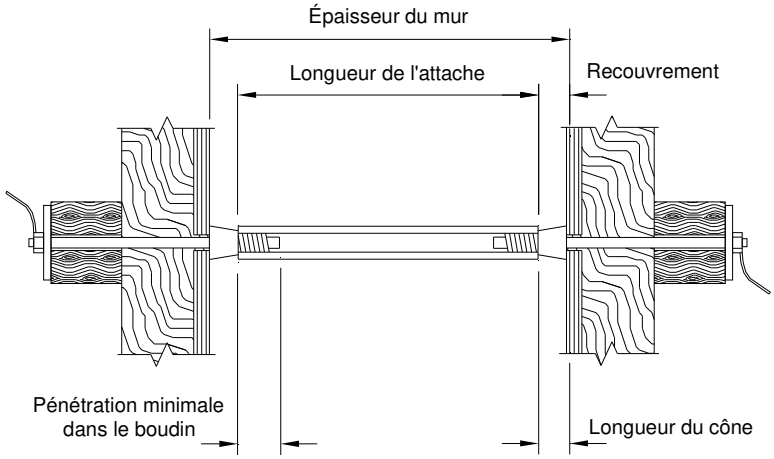
Les attaches doivent être galvanisées lorsque l'acier d'armature est lui-même galvanisé. Cette exigence du CCDG s'impose compte tenu de la faible épaisseur de l'enrobage de béton au-dessus des attaches. Il est exigé au CCDG que les attaches aient un diamètre minimal de 12 mm et une capacité en service de 20 kN (ce qui écarte d'office les attaches de type *snap tie*).

Précisons que dans le cas d'ouvrages de forte épaisseur, l'utilisation de deux boudins reliés par une tige filetée centrale peut s'avérer nécessaire. Dans ce cas, si les armatures sont galvanisées, les deux boudins doivent être galvanisés. La tige centrale par contre ne doit pas être galvanisée afin de ne pas interférer avec le filetage, ce qui rendrait la fixation aux boudins très difficile voire impossible.

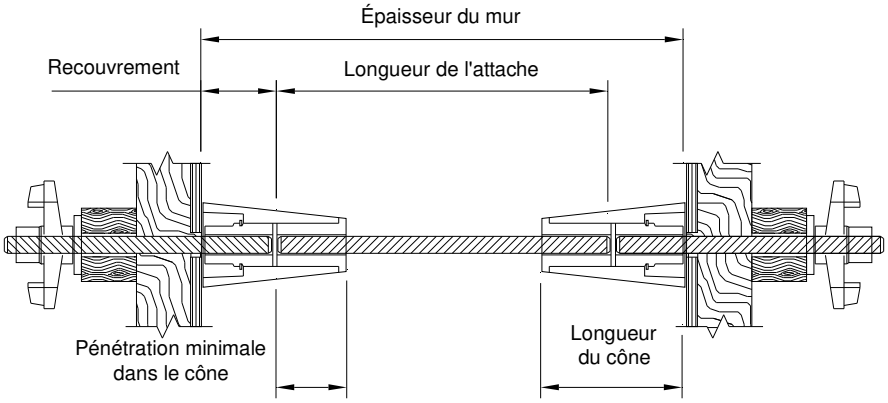
Le surveillant ne doit pas accepter des attaches galvanisées autrement qu'à chaud, car la durabilité en serait fortement réduite. En effet, des films galvanisants à froid, comme ceux commercialisés par Zinga, sont parfois proposés (ou le plus souvent utilisés à l'insu du surveillant car il n'est pas facile de distinguer les systèmes de protection) par l'entrepreneur en remplacement de la galvanisation à chaud. L'attestation de conformité (émise par Galvano), dorénavant exigée pour les produits galvanisés à chaud, doit être exigée par le surveillant pour s'assurer que la galvanisation à chaud a bel et bien été réalisée. Celle-ci doit avoir l'épaisseur minimale exigée à l'article 15.14.2.2.2 du CCDG.

Contractuellement, précisons que la galvanisation à chaud est exigée en vertu de la section 15.14 du CCDG. L'article 15.4.3.1.3 exige des attaches galvanisées et le terme galvanisé renvoie à la section 15.14.2, qui précise que lorsque de la galvanisation est demandée dans les plans et devis, le procédé utilisé pour la galvanisation doit être la galvanisation à chaud.

Il est exigé au CCDG que les attaches soient positionnées à angle droit par rapport à la surface de béton de l'élément à construire. Cette dernière exigence est nécessaire afin de ne pas réduire la capacité de l'attache et afin de permettre la mise en place du cône en plastique (de façon à ce que ce dernier fasse contact en tout point avec le coffrage, cela permet d'éviter que le béton s'infiltre à l'intérieur du cône et par conséquent, d'avoir un trou régulier une fois le cône enlevé). Si cela n'est pas possible, l'extrémité du cône en plastique du côté coffrage doit être biseautée afin que le cône fasse contact en tout point avec le coffrage; pour le système de coffrage fabriqué par PERI, les cônes doivent être modifiés comme montré sur les plans d'atelier.



AVEC BOUDINS



AVEC TIGE HAUTE RÉSISTANCE

Figure 4.3-3 Attaches de coffrage

Les attaches doivent être disposées sur une même ligne verticale pour faciliter la mise en place du béton et améliorer l'esthétisme de l'ouvrage construit. La partie centrale des attaches ne doit pas non plus être installée à l'intérieur de l'enrobage des armatures, tel qu'illustré sur la figure 4.3-2 présentée précédemment.

Il est également proscrit au CCDG d'employer des gaines sur les attaches de coffrage car la partie centrale de ces attaches doit demeurer dans le béton. L'utilisation de gaines permettrait de retirer la totalité de l'attache après bétonnage ce qui laisserait des vides qui traverseraient alors de part et d'autre de l'ouvrage, affectant grandement sa durabilité.

Aucune attache de coffrage ne doit être placée dans le béton des glissières, chasse-roues, trottoirs ou piste cyclables, puisque ces éléments sont très exposés aux sels de déglaçage et subissent également une forte abrasion par le sable épandu et les

déneigeuses. Aucune attache de coffrage ne doit être fixée sur la face extérieure d'une dalle afin de ne pas nuire à sa durabilité. De plus, aucune attache de coffrage ne doit être placée dans un élément de béton précontraint en place, comme un tablier, afin d'éviter que les coffrages n'induisent des pertes de précontrainte parasitaires lors de la mise en tension de l'armature de précontrainte. Finalement, dans le cadre de la réfection d'un côté extérieur d'une dalle sur poutres en béton, les attaches de coffrages ne peuvent être fixées que sur le dessus des poutres; cette exigence permet d'éviter le perçage de trous à des endroits qui pourraient endommager l'armature des poutres existantes et ainsi réduire leur capacité.

Afin de fixer les coffrages des glissières au béton du dessus de la dalle, il est exigé à l'article 15.4.3 du CCDG que l'entrepreneur utilise des ancrages mécaniques afin d'éviter d'endommager indûment le béton et de réduire le plus possible la perte de durabilité de la dalle. Le dessus des douilles des ancrages doit se situer à au moins 60 mm plus bas que le dessus du béton de la dalle; cette exigence est nécessaire pour préserver la durabilité de la dalle à ces endroits. Le CCDG permet aussi l'alternative d'utilisé des ancrages en acier inoxydable fixés chimiquement dans la dalle, ancrages qui seront coupés au niveau du dessus de la dalle après utilisation. L'utilisation, dans ce cas, d'éléments en acier inoxydable rend possible leur exposition en surface, d'autant plus que ceux-ci seront recouverts par la membrane d'étanchéité. Précisons cependant que des ancrages mécaniques, même en acier inoxydable, ne peuvent être coupés de cette manière puisque l'espace annulaire entre l'ancrage et la dalle se remplirait d'eau et pourrait causer des problèmes de durabilité. De même, un ancrage galvanisé ne peut être coupé en surface puisque la surface de coupe rouillerait et causerait aussi des problèmes de durabilité. Finalement, après la coupe des ancrages, le surveillant devrait s'assurer que ceux-ci ne font pas saillie avec le béton environnant pour éviter que la membrane ne soit percée par les ancrages lors de sa pose.

Pour fixer les coffrages des chasse-roues, trottoirs et pistes cyclables, le devis spécial permet l'utilisation de clous. Il est par contre proscrit, dans ces cas, d'utiliser des outils à détonation, car ceux-ci peuvent endommager le béton lors du fonçage. À noter que le dommage créé par ces outils peut ne pas être visible immédiatement lors du fonçage des clous, et apparaître seulement au moment où les clous sont retirés. Il faut donc insister pour que des clous soient utilisés avec un préforage à la mèche.

L'utilisation des clous n'est pas permise pour fixer les coffrages des glissières étant donné que les charges du béton frais y sont plus importantes, ce qui entraînerait l'utilisation d'un trop grand nombre de clous.

Les trous laissés par les clous une fois retirés doivent être comblés de coulis cimentaire, un mortier étant trop consistant pour y être inséré convenablement dans (présence d'un trou de faible diamètre et de bonne profondeur).

Dalle sur poutres

Les attaches de coffrages employées pour soutenir les coffrages d'une dalle construite sur des poutres comprennent principalement les selles ajustables en hauteur et les supports métalliques pour le coffrage en porte-à-faux.

Dalle sur poutres – selles ajustables en hauteur

Les selles ajustables en hauteur, qui font partie des exigences du CCDG, sont nécessaires pour permettre l'ajustement vertical des coffrages lors du passage à vide. Elles doivent être choisies à même celles offertes sur le marché afin d'éviter l'utilisation de selles non certifiées en termes de charges et du facteur de sécurité. La description précise des selles apparaissant dans le CCDG est nécessaire pour bien cibler le type désiré afin d'éliminer toute confusion possible avec d'autres types de selles. Les selles sont composées de deux parties distinctes : une cale qui repose sur le dessus de la poutre et une tige filetée pour soutenir les coffrages. Les supports de certaines selles se prolongent d'environ 15 mm sous le niveau du dessus de la semelle supérieure des poutres; ces selles doivent être utilisées lorsque les coffrages retenus par cette dernière doivent supporter l'équipement de finition du béton de la dalle. Cette exigence des fournisseurs de selles est importante afin d'empêcher le glissement latéral des selles. La figure 4.3-4 montre une selle ajustable en hauteur type.

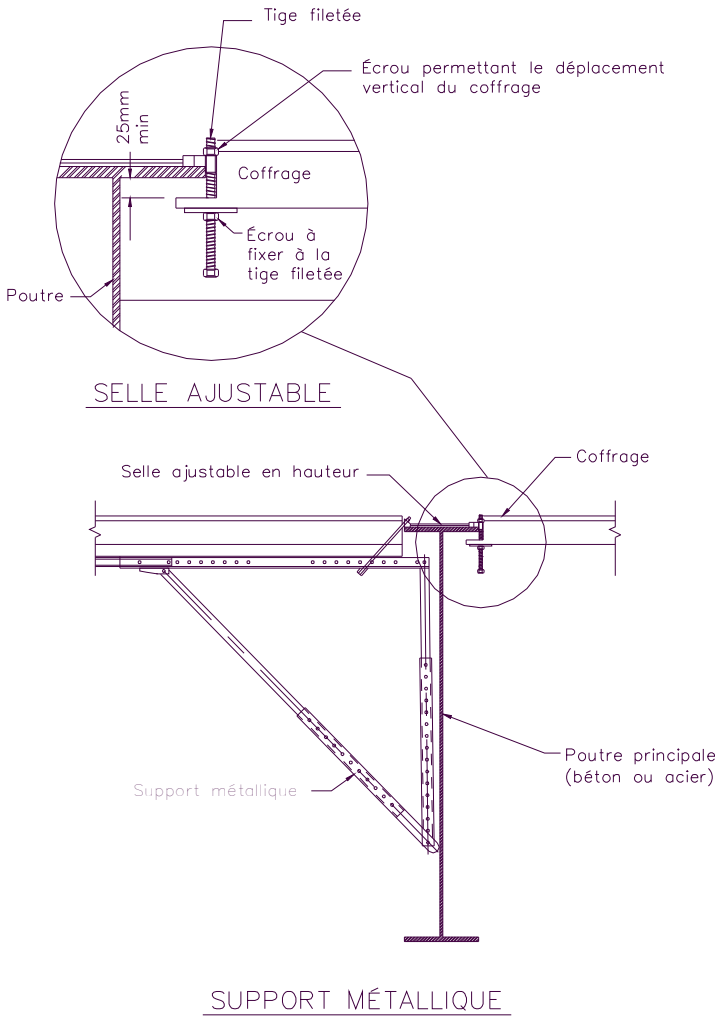


Figure 4.3-4 Support métallique et selle ajustable en hauteur

Les selles sont offertes en différents modèles selon les besoins : pour les coffrages en porte-à-faux (selle complète ou demi-selle) et pour les coffrages entre deux poutres (tiges filetées posées à la verticale ou non, selon le type de poutres). Les demi-selles sont souvent utilisées pour augmenter la capacité des coffrages en porte-à-faux, car leur utilisation est moins dispendieuse que de doubler le nombre de selles ordinaires. Bien qu'offerte en différents modèles, la demi-selle la plus employée est celle munie d'un crochet permettant de s'agripper sur la face intérieure de la semelle supérieure de la poutre de rive. Une autre variante, interdite au CCDG à cause des amorces de fissure que cela peut causer aux poutres, consiste à fixer par soudure la demi-selle sur le dessus d'une poutre en acier. Si cette situation se présente, le surveillant doit consulter le concepteur pour s'enquérir des méthodes de correction et de vérification appropriées.

Précisons que les crochets des demi-selles ne doivent être employés que sur le côté intérieur de la poutre de rive. Cette exigence du CCDG vise à éviter l'emploi de demi-selles avec les crochets sur la face extérieure de la poutre de rive pour empêcher la déflexion latérale des poutres. La présence des crochets sur la face extérieure, en plus d'être inesthétique, nuit à la durabilité de l'ouvrage.

Bien qu'il soit possible de commander des selles d'une hauteur correspondant à la hauteur des goussets, la hauteur des selles est laissée à la discrétion de l'entrepreneur.

Ce dernier choisit généralement des selles équivalant à une hauteur de goussets nulle, parce qu'il peut passer sa commande bien avant de connaître la hauteur exacte des goussets, ce qui lui permet de ne pas retarder ses travaux.

Les selles doivent être galvanisées, parce qu'une partie de celles-ci reste hors du béton après le décoffrage.

Les selles sont fabriquées en fonction de la largeur du dessus des poutres; une tolérance de 10 mm est allouée de part et d'autre de la poutre. Il faut respecter cette tolérance sinon le facteur de sécurité requis par les normes n'est plus assuré. Dans le cas d'un pont à poutres d'acier, il arrive que l'entrepreneur commande ses selles sans penser que la largeur de la semelle supérieure des poutres varie, ce qui entraîne évidemment des retards, puisque bon nombre de selles se révèlent alors inutilisables.

Il est précisé au CCDG que les selles supportant un coffrage en porte-à-faux doivent être installées perpendiculairement à l'axe des poutres même pour un pont avec biais; cette exigence est nécessaire afin d'éviter que les selles soient placées à un angle légèrement inférieur au biais stipulé, entraînant un risque de glissement des selles.

Les selles ajustables doivent être installées de façon à jouer leur rôle, c'est-à-dire de façon à permettre le déplacement vertical du coffrage à partir du dessus du tablier. Pour ce faire, il faut fixer l'écrou du dessous du coffrage à la tige filetée de la selle; cet écrou est normalement fixé au moyen d'une broche. De plus, il faut, lors du montage des coffrages, s'assurer d'avoir une distance suffisante entre le dessous de la semelle supérieure de la poutre et le coffrage pour permettre de lever le coffrage au besoin lors du passage à vide; une distance de 25 mm devrait être suffisante. Dans tous les cas, il faudrait que la longueur de la tige filetée de la selle soit suffisante à son extrémité supérieure pour permettre l'abaissement du coffrage au besoin lors du passage à vide; une distance de 25 mm devrait être suffisante; mentionnons qu'il est demandé au CCDG de limiter cette distance à 25 mm afin de réduire la profondeur des trous laissés dans le béton à la suite de l'enlèvement des tiges filetées des selles. Si les coffrages ne peuvent pas être relevés ou abaissés pour une raison quelconque lors du passage à vide, l'entrepreneur doit rectifier la situation en procédant par le dessous de la dalle; cette situation peut entraîner une importante perte de temps si l'accès au-dessous de la dalle est impossible ou problématique.

Lors de la coulée d'une phase de raccordement d'une dalle, communément appelée « zipper », le CCDG précise de ne pas fixer les coffrages à la dalle déjà coulée de part et d'autre, et ce afin de limiter la quantité d'ancrages mécaniques qui seraient alors nécessaires, affectant du même coup la durabilité de cette portion de dalle.

Des précautions doivent être prises lors de la mise en place des coffrages pour que les charges soient appliquées simultanément sur les deux côtés des selles. Il est, par contre, interdit de solidifier celles-ci pour faciliter la mise en place des coffrages en les fixant au moyen de points de soudure aux poutres, aux goujons ou aux étriers.

Dalle sur poutres – supports métalliques

Les supports métalliques sont utilisés pour soutenir les coffrages en porte-à-faux de la dalle. Quelques types de supports sont offerts sur le marché, mais les plus utilisés sont du type léger, fabriqués essentiellement à partir de tubes en acier ou en aluminium de petit diamètre et qui sont retenus par une seule selle ajustable en hauteur. Dans le cas d'un pont à poutres d'acier, l'extrémité du support en contact avec les poutres devrait être recouverte d'un enduit caoutchouté pour éviter d'endommager le revêtement anticorrosion de la poutre. La figure 4.3-4 montre un support métallique type.

Dans le cas où le rail de roulement de l'équipement de finition est localisé sur le coffrage en porte-à-faux, la mise en place des supports métalliques doit être faite soigneusement, étant donné qu'il est impossible d'en modifier le nivellement lors du passage à vide. En effet, cette modification de nivellement du support métallique changerait le profil du rail de roulement et, en conséquence, le profil longitudinal du dessus de la dalle. Certains entrepreneurs positionnent l'extrémité du coffrage en porte-à-faux selon un niveau légèrement plus élevé afin de tenir compte de la déflexion des coffrages sous le poids du béton; cette façon de faire est acceptable pourvu que l'ajustement ne dépasse pas 5 mm.

Les supports fabriqués en bois sont interdits à cause de leur capacité réduite et surtout à cause de la variabilité de la résistance d'un support à l'autre. Cette variabilité entraîne une modification non désirée du profil longitudinal final de la dalle et de la valeur de l'enrobage de béton au-dessus des armatures, tout en engendrant sur le dessous de la dalle un effet visuel inesthétique sous forme de vagues. Pour les mêmes raisons, l'espacement entre les supports doit être constant et ces derniers ne doivent pas prendre appui sur les unités de fondation.

Dalle sur poutres – supports de coffrages ajustables Borg

Comme solution de remplacement aux supports de coffrage conventionnels, le devis spécial permet, dans certains cas, d'utiliser des supports réutilisables constitués d'un bâti d'acier qui s'appuie sur le dessus des semelles supérieures. Ces supports sont ajustables par le biais d'une tige filetée située à la base du support.

Le devis spécial fixe des conditions pour l'utilisation de ces supports afin d'éviter des problèmes de mise en œuvre. Ainsi, les poutres doivent être en acier, car le rebord des semelles des poutres en béton n'est pas adapté à ce type de support. La poutre doit

également avoir une profondeur minimale de 1 000 mm et un pontage doit être en place pour permettre la circulation sous les coffrages au moment de la passe à vide, étant donné que l'ajustement de ces supports doit s'effectuer par le dessous de la dalle, contrairement aux selles conventionnelles. Finalement, ce type de support requiert un gousset minimal de 10 mm pour dégager la languette métallique qui s'appuie sur le dessus de la semelle; il faut donc que l'épaisseur du gousset de base théorique, évaluée par le concepteur et prévue aux plans, soit suffisante pour intégrer cette surépaisseur imposée de 10 mm en chantier. Par conséquent, le surveillant se doit de consulter le concepteur avant de permettre à l'entrepreneur d'utiliser ce type de selles. De plus, après l'enlèvement de la languette métallique d'appui pour chaque selle lors du décoffrage, il faut s'assurer que l'entrepreneur comble la cavité en place à l'aide de mortier, selon les conditions spécifiées à l'étape de la correction des surfaces de l'article 15.4.3.5.11 du CCDG.

Si les conditions précédentes ne sont pas réunies, le surveillant se doit de refuser l'utilisation de ces supports. Dans le cas contraire, des problèmes d'ajustement risquent de survenir lors de la passe à vide et le Ministère pourrait subir des coûts additionnels importants pour la réalisation de goussets non prévus, le surplus de béton pour ces goussets et la modification des profils aux approches.

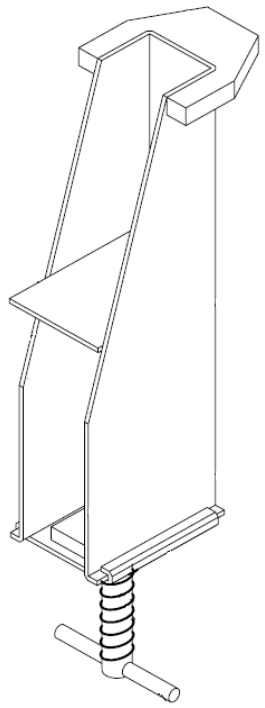


Figure 4.3-5 Support de coffrage ajustable de type « Borg »

Travaux d'entretien

Même si les attaches des coffrages sont d'abord et avant tout de la responsabilité de l'entrepreneur, celles qui servent à retenir les coffrages utilisés pour des travaux de réparation avec coffrages et surépaisseur sont définies de façon précise dans le CCDG, car elles jouent un double rôle : retenir la poussée du béton plastique sur les coffrages et ancrer la réparation au substrat, une fois le béton durci. Pour cette raison, ces attaches sont appelées « tirants » dans le CCDG.

Selon les exigences du CCDG, la longueur du cône des tirants doit être choisie de façon à ce que la distance entre la surface de béton et l'extrémité des tirants se situe entre 25 et 50 mm. Outre les raisons déjà évoquées pour les attaches, la limite de 50 mm permet également de s'assurer que l'attache pénètre suffisamment dans le nouveau béton pour ancrer adéquatement la réparation au substrat.

Un tirant type utilisé pour des travaux d'entretien est illustré à la figure 4.3-6.

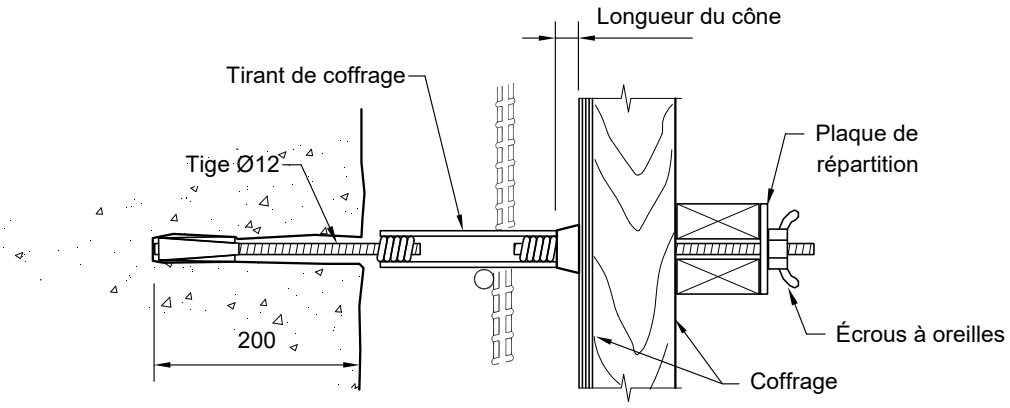


Figure 4.3-6 Tirant type

Les exigences du CCDG sont suffisantes pour ancrer adéquatement le béton durci au substrat, mais peuvent s'avérer insuffisantes pour résister à la poussée du béton plastique lors du bétonnage. L'entrepreneur doit donc au besoin soit augmenter le nombre de tirants, soit utiliser des tirants de plus grande capacité pour résister aux efforts engendrés par le béton plastique.

L'entrepreneur peut décider d'ancrer le nouveau béton autrement qu'en se servant des tirants décrits dans le CCDG, comme c'est souvent le cas lors de l'utilisation de coffrages préfabriqués. Des ancrages doivent alors être fixés au substrat en remplacement des tirants décrits précédemment. Ces ancrages sont définis à la section 4.3.4 « Ancrages » de ce chapitre.

Les tirants doivent être installés à l'intérieur de la réparation, comme dans le cas d'une réparation avec coffrages sans surépaisseur, afin de ne pas endommager inutilement le béton environnant.

Le CCDG proscrit l'utilisation de plaques entre les cônes de plastique des tirants et la paroi des coffrages. Cette interdiction vise à éviter des problèmes qui se sont déjà posés, particulièrement lors de travaux de réparation sur de grandes surfaces; des entrepreneurs utilisaient des panneaux de coffrages préfabriqués (réutilisables), avec trous surdimensionnés dans le but d'avoir une marge de manœuvre pour l'installation des tirants dans le béton. Une plaque métallique mince était alors employée à l'intérieur des coffrages afin de combler l'espace annulaire autour du tirant dans le trou surdimensionné. Cette pratique, en plus de laisser une multitude d'empreintes qui s'avèrent non esthétiques, diminue le recouvrement de béton au-dessus des armatures.

Le surveillant doit être attentif à la position des tirants après la pose des armatures. Il peut en effet arriver que les ferrailleurs déplacent l'extrémité du tirant (boudin) en le tournant lors de la pose des armatures, ce qui peut résulter en un mauvais alignement des coffrages. Des soudures ne devraient pas être utilisées pour fixer les tirants aux tiges ancrées dans le béton, car cette pratique peut affecter la capacité de la tige.

Éléments préfabriqués

Les éléments de béton préfabriqués doivent, pour la plupart, être munis de dispositifs de levage pour qu'il soit possible de les déplacer à l'usine et sur le chantier. Sauf dans le cas des poutres préfabriquées, qu'on manipule en recourant à des torons noyés partiellement dans le béton, les éléments de levage doivent être commercialisés à cette fin, afin d'éviter de manipuler des éléments munis de systèmes de levage « improvisés » comme des barres d'armature pliées. La figure 4.3-7 ci-dessous illustre un dispositif de levage usuel.

Le CCDG exige un recouvrement minimal de 10 mm sur ces éléments. Comme ces éléments doivent être placés à une certaine distance de la surface du béton afin d'assurer un bon fonctionnement de l'appareil de levage, cette exigence représente un compromis; cette valeur minimale de recouvrement permet d'éliminer les dispositifs de levage de faible capacité et situés très près de la surface. En contrepartie, deux exigences sont prévues pour contrebalancer le faible recouvrement : l'utilisation systématique d'éléments galvanisés (même lorsque l'armature ne l'est pas) et la spécification, au devis spécial, de trois mortiers spécifiques pour le recouvrement en chantier. Les trois mortiers exigés au devis ont été choisis en fonction de leur formulation avec latex, ce qui leur confère une adhérence et une imperméabilité supérieures.

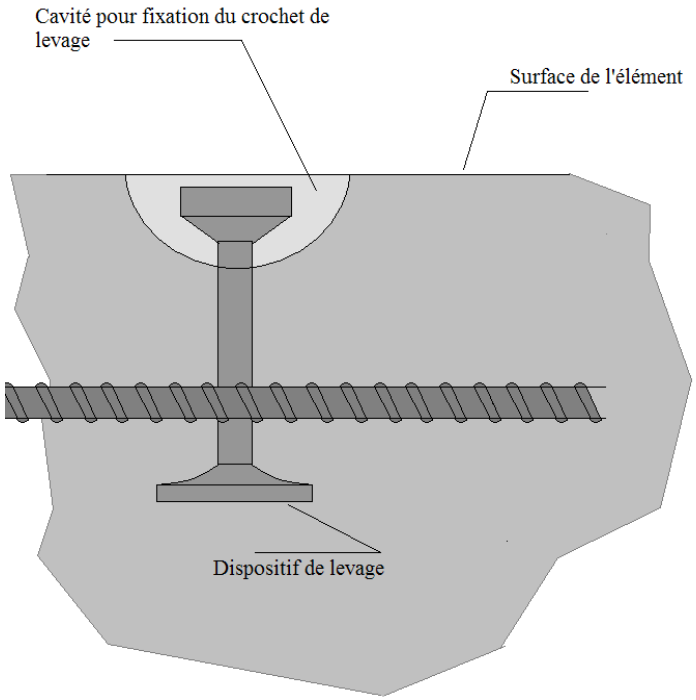


Figure 4.3-7 Dispositif de levage type

4.3.1.4 Préparation des coffrages

La surface intérieure des coffrages doit être recouverte d'un agent de décoffrage commercialisé lorsqu'aucune doublure de coffrage n'est employée. L'entrepreneur doit procéder à son application avant la pose des armatures afin d'éviter de salir celles-ci. En effet, la présence d'un agent de décoffrage sur les armatures nuit fortement au lien entre ces dernières et le béton.

Doublure de coffrage

La doublure de coffrage absorbe et draine vers le bas du coffrage le surplus d'eau qui se déplace vers les coffrages lors de la vibration du béton tout en bloquant le passage des particules fines de celui-ci. Cela permet ainsi d'éliminer les accumulations d'eau qui, au décoffrage, s'apparentent plutôt à des vides, des poches d'air ou des grosses bulles. Le rapport eau/liant du béton de surface est donc maintenu à la même valeur que celui du béton du cœur de l'élément. L'absence de vides à la surface du béton permet de préserver l'enrobage de béton au-dessus des armatures. Le maintien du rapport eau/liant offre l'assurance que le béton de surface aura les caractéristiques de durabilité requises pour résister aux intempéries.

Les surfaces habituellement couvertes de doublure de coffrages sont celles des glissières et celles des faces extérieures des poutres de rive en béton précontraint. Ces surfaces sont couvertes de doublure, car elles sont fortement exposées aux éléments et, dans le cas des poutres précontraintes, ont un recouvrement de béton limité

au-dessus des armatures. Précisons que lorsqu'une doublure de coffrage est exigée à l'intérieur du coffrage d'une glissière, cette exigence n'inclut pas le côté extérieur de la dalle située sous la glissière.

La doublure doit respecter les exigences de la norme 31001 du Ministère. Les doublures qui répondent aux exigences de la norme apparaissent à la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

Un seul type de doublure doit être utilisé pour un même pont, parce que la texture et la couleur du béton peuvent varier légèrement selon la doublure employée.

La doublure de coffrage doit être mise en place selon les recommandations du fabricant. Il est important de mentionner que certaines doublures ont un sens de pose déterminé, c'est-à-dire qu'un des côtés de la doublure doit faire contact avec le coffrage alors que l'autre côté doit faire contact avec le béton.

Pour des raisons d'esthétisme et de préservation de l'enrobage de béton au-dessus des armatures, la doublure de coffrage doit être très bien tendue sur la surface des coffrages avant d'y être fixée. Si la doublure est mal tendue, la pression du béton lors de la coulée fera apparaître des plis qui se retrouveront sur la surface de béton durci. Lorsque la pose de la doublure est faite correctement, peu de plis apparaissent à la surface du béton.

La doublure est fixée au moyen d'agrafes sur des coffrages en bois et au moyen de colle en aérosol sur des coffrages métalliques. Aux changements de direction des coffrages, il est particulièrement important de suivre les recommandations du fabricant pour éviter la formation de plis à ces endroits. La pose préalable de la doublure en usine, ou longtemps à l'avance en chantier, est une pratique qui devrait être évitée, car elle favorise l'apparition de plis et le colmatage de certaines surfaces par salissage.

La doublure doit être sèche lors du bétonnage; cette exigence du CCDG s'impose afin de ne pas réduire le pouvoir d'absorption de la doublure. Il faut être particulièrement vigilant dans le cas des chasse-roues et glissières, car l'humidification du béton existant de la dalle à la base des coffrages a tendance à mouiller la doublure de coffrage.

La doublure ne doit pas être utilisée plus d'une fois, car elle perd la plupart de ses propriétés après un premier usage. Cette exigence du CCDG s'applique pour tous les produits offerts sur le marché, même ceux dont les fabricants affirment qu'ils peuvent être utilisés plus d'une fois.

Chanfreins

Toutes les arêtes vives de l'ouvrage à bétonner, à l'exception des semelles, des dalles de transition et des épaulements des joints de tablier à plus d'une garniture, doivent être chanfreinées.

Les chanfreins sont exigés non seulement pour une raison d'esthétisme, mais surtout pour éviter d'avoir des arêtes vives qui peuvent se briser facilement. Ce bris peut se rendre jusqu'à l'armature et l'exposer ainsi aux intempéries, conduisant rapidement à des dommages importants à l'élément de pont. Pour ces raisons de durabilité, les chanfreins sont exigés autant sur les éléments de béton exposés que sur ceux qui seront remblayés.

Les chanfreins servent aussi à positionner adéquatement le niveau final du béton dans les coffrages à la partie supérieure de la coulée. On s'assure ainsi, en plus des éléments notés précédemment, que les armatures à la partie supérieure auront un recouvrement adéquat.

Un chanfrein est également requis sur la face extérieure du joint de construction localisé entre la dalle et les chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle ou glissières pour assurer un esthétisme adéquat à cet endroit. Ce chanfrein permet de positionner le joint de coulée selon une ligne parallèle au-dessus de la dalle. Dans le cas de travaux d'entretien nécessitant la reconstruction d'une longueur limitée de dalle, comme lors du remplacement d'un joint de tablier, un chanfrein est également demandé sous la dalle afin de préserver le larmier.

Les chanfreins sont réalisés en utilisant des languettes de bois triangulaires, lesquelles doivent être fixées solidement et être en contact avec la face intérieure du coffrage sur toute leur longueur pour éviter que la laitance ne s'infiltre à l'arrière d'elles.

Les chanfreins ne sont pas réalisés sur les semelles et les dalles de transition, car ces éléments sont plus simples en matière de coffrage et sont moins exposés aux sels de déglaçage ou aux cycles de gel et de dégel. Les chanfreins ne sont pas réalisés non plus sur les épaulements des joints de tablier à plus d'une garniture afin d'avoir une transition adéquate entre la surface de l'épaulement et celle de l'enrobé.

4.3.1.5 Nettoyage des coffrages

L'enlèvement des débris de toutes sortes sur la face intérieure des coffrages et sur le béton mis en place lors d'un précédent bétonnage a un but esthétique bien sûr, mais il est surtout nécessaire pour assurer la durabilité de l'ouvrage en préservant l'enrobage de béton au-dessus des armatures. En effet, les débris de bois gonflent sous l'action de l'humidité et du gel, et ils risquent de faire éclater le béton, réduisant ainsi la capacité et la durabilité de l'ouvrage. Les débris métalliques, tels que les broches servant de ligature aux barres d'armature et les clous laissés sur les coffrages d'une dalle, font corroder et tacher rapidement le béton de l'ouvrage.

Il ne faut pas attendre le jour du bétonnage pour procéder au nettoyage des coffrages, car l'entrepreneur a beaucoup d'autres préoccupations ce jour-là. Idéalement, les ouvriers devraient être sensibilisés de façon à réduire le plus possible le volume de débris lors du montage des coffrages et de la pose des armatures.

Le nettoyage des coffrages devrait être fait au moyen d'un aspirateur. L'utilisation d'un jet d'air est rarement indiquée, puisque ce dernier ne fait que déplacer les débris et la poussière. Si l'entrepreneur utilise tout de même un jet d'air, il devrait compléter le travail avec un aspirateur, surtout au fond et dans les coins des coffrages. Si les coffrages sont trop profonds ou trop élancés pour permettre l'inspection et l'enlèvement des débris à partir du dessus de ceux-ci, une ouverture temporaire doit être pratiquée à leur base pour rendre possibles ces opérations.

Si l'entrepreneur utilise un jet d'eau pour nettoyer les coffrages, il lui faut porter une attention particulière pour éviter les accumulations d'eau au fond des coffrages.

4.3.1.6 Enlèvement des coffrages

Il est stipulé au CCDG que les coffrages doivent demeurer en place pour un minimum de trois jours suivant la mise en place du béton, sauf s'il s'agit de béton de type XIII pour lequel les exigences sont différentes. Idéalement, les coffrages devraient toujours rester en place sept jours, soit la durée normale de la cure du béton. Cependant, l'entrepreneur les enlève souvent avant, soit parce qu'il a besoin des coffrages pour d'autres bétonnages, soit parce que ceux-ci gênent la suite des opérations. La période minimale exigée de trois jours est donc un compromis qui permet d'éviter d'endommager, lors de l'enlèvement des coffrages, un béton trop peu résistant tout en laissant le loisir à l'entrepreneur de poursuivre ses travaux. Par temps chaud, l'enlèvement des coffrages après la période minimale exigée est par contre à privilégier, de façon à contribuer à réduire la température à l'intérieur du béton. En effet, la résistance thermique des coffrages est plus élevée que celle découlant des méthodes de cure mentionnées au CCDG.

Pour les éléments construits avec du béton de type XIII, le délai avant d'enlever les coffrages varie en fonction de la température ambiante. Si la température moyenne au cours des trois jours suivant le bétonnage est inférieure à 15 °C, les coffrages doivent demeurer en place pour une période minimale de sept jours. Cette exigence particulière s'impose afin d'éviter un choc thermique trop important; il faut se référer à la section 4.3.8 « Bétonnage par temps froid » pour plus de détails. Par contre, si la température ambiante est supérieure à 15 °C durant ces trois jours, les coffrages doivent être enlevés après cette période. Cette exigence est nécessaire pour éviter la fissuration du béton due à la surchauffe engendrée par l'hydratation du liant.

Dans tous les cas où les coffrages sont enlevés avant la fin de la période de cure de sept (7) jours, les exigences relatives à la cure du béton s'appliquent. Le CCDG ne fixe pas de délais précis entre l'enlèvement des coffrages et le maintien de la cure (que ce soit par cure chimique ou cure à l'eau), mais mentionnons que le surveillant doit insister pour que celle-ci se fasse dans les plus brefs délais.

Il faut noter que le fait de desserrer les coffrages est considéré comme un enlèvement de coffrages. Le desserrement des coffrages entraîne généralement une perte de contact de ces derniers avec le béton, du moins sur une partie de la surface coffrée. Les coffrages ne sont donc plus en mesure de procurer la cure nécessaire au béton, ni

de protéger ce dernier contre le choc thermique décrit précédemment. Si les coffrages sont desserrés par mégarde, ils doivent être immédiatement enlevés de façon complète; si cela n'est pas possible, l'entrepreneur doit veiller à ce que la surface du béton soit constamment maintenue humide au moyen d'un boyau perforé positionné juste au-dessus du coffrage. Cette situation ne devrait toutefois être tolérée qu'en dernier recours, car il est difficile de constater si toutes les surfaces du béton sont bel et bien en contact avec l'eau de la cure.

L'entrepreneur doit procéder avec précaution lors de l'enlèvement des coffrages pour ne pas endommager la surface du béton. Des précautions additionnelles doivent être prises lorsque l'enlèvement des coffrages se fait avant la fin de la période de cure. En effet, le béton est alors moins résistant et, par conséquent, plus susceptible de subir des dommages lors du décoffrage. Pour les mêmes raisons, l'enlèvement des coffrages d'un élément fait de béton autoplaçant (bétons de type XIV-C, XIV-R et XIV-S) ou semi-autoplaçant (type XVII) doit être effectué avec beaucoup de précautions, compte tenu du développement plus lent de la résistance associé à ce genre de béton.

Le CCDG permet l'enlèvement des coffrages après trois (3) jours sans exiger de résistance minimale pour le béton. En condition normale et lorsque les exigences du CCDG sont respectées, cette période est suffisante pour que le béton se soutienne et que le décoffrage puisse s'effectuer sans dommages lorsqu'il est effectué soigneusement. Par contre, il faut attendre une résistance minimale de 70 % de la résistance exigée à vingt-huit (28) jours pour les éléments qui soutiennent les coffrages verticalement ou latéralement. Ces éléments seront abordés à la section « Étaiements »

Tous les panneaux de coffrage en contact avec le béton doivent être enlevés sans aucune exception, y compris ceux à l'arrière d'une culée ou à tout autre endroit peu apparent du pont. Les panneaux conservent l'humidité et peuvent endommager le béton sous l'effet répété du gel. Les panneaux empêchent également de constater la bonne qualité de la surface du béton et empêchent aussi l'inspection de l'ouvrage. De plus, un coffrage laissé en place, par exemple sous un joint de tablier, peut entraver le mouvement du tablier. Il ne faut pas oublier non plus d'enlever les languettes de bois ayant servi à former les chanfreins ou les larmiers. Dans ce dernier cas, le maintien des languettes de bois en place empêcherait le larmier de jouer son rôle.

Lors de l'enlèvement de coffrages dans lesquels une doublure de coffrage a été utilisée, il se peut que cette dernière demeure sur le béton. Elle doit alors être immédiatement enlevée pour que la mise en place d'un matériau de cure formant membrane soit possible. La doublure peut, par contre, demeurer en place jusqu'à la fin de la période de cure si celle-ci consiste à employer des toiles absorbantes imbibées d'eau; la doublure de coffrage agit alors de la même manière qu'une toile absorbante. Notons aussi que l'utilisation de la doublure de coffrage donne en général une couleur plus foncée au béton, et que ce phénomène est tout à fait normal.

4.3.2 Étaiement

Le terme « étaiement » est appliqué de façon générale à une structure temporaire servant à supporter un coffrage. Les étaiements sont parfois désignés sous le vocable « fausses charpentes ».

L'étaiement est requis pour un coffrage de tablier en béton précontraint par post-tension, de dalle épaisse ou de portique; il peut être aussi requis pour un chevêtre, un mur en retour en porte-à-faux ou une structure existante devant être supportée temporairement lors de la coulée du béton.

Il ne faut pas confondre l'« étaiement » avec un autre terme employé dans nos documents contractuels, le « soutènement temporaire ». Le soutènement temporaire est associé aux travaux d'excavation ou aux travaux de fondation.

Il ne faut pas non plus confondre l'étaiement avec le support temporaire. L'étaiement sert à supporter le béton frais, tandis que les supports temporaires servent à supporter une structure existante affaiblie par des travaux de démolition et de réparation. Les indications quant aux supports temporaires se retrouvent généralement au devis spécial.

Conception de l'étaiement

La conception et la mise en place de l'étaiement doivent respecter la norme CSA-S269.1. L'entrepreneur est tenu de s'y conformer afin de s'assurer que la capacité de l'étaiement est suffisante et, par ricochet, que la sécurité des ouvriers et des usagers de la route circulant à proximité est respectée.

Les principales charges à considérer lors de la conception d'un étaiement sont :

- les charges verticales :
  - les coffrages et le béton qu'il contient;
  - les ouvriers et les équipements utilisés lors de la mise en place du béton;
- les charges horizontales :
  - le vent.

Ces charges, y compris celles appliquées sur l'étaiement mais non spécifiquement mentionnées précédemment, devraient être inscrites sur le plan de l'étaiement. De plus, compte tenu de l'importance du sol dans la capacité d'un étaiement, la nature et la capacité du sol devant lui servir d'appui devraient également figurer sur le plan de l'étaiement.

La valeur de l'affaissement de l'étaiement lors du bétonnage doit être elle aussi inscrite sur le plan. En effet, il faut tenir compte de l'affaissement pour établir les niveaux de dessus final du béton ainsi que la dimension verticale de l'élément à bétonner. De plus, dans le cas d'un tablier de pont, la valeur de l'affaissement est nécessaire pour établir

les profils des coffrages et des rails de roulement de l'équipement de finition. Dans tous les cas, la valeur de l'affaissement doit être uniforme sur l'ensemble de l'étaiement. Si ce n'est pas le cas, le plan doit indiquer clairement les différentes valeurs d'affaissement prévues. Cette situation se produit généralement lorsque l'élément à bétonner est de hauteur variable; elle survient également lorsqu'une partie du coffrage n'est pas appuyée directement au sol, comme pour la partie de tablier localisée au-dessus d'une voie demeurée ouverte à la circulation.

Si l'une ou l'autre des données mentionnées précédemment n'est pas inscrite sur le plan de l'étaiement, celui-ci ne devrait pas être utilisé.

La figure 4.3-8 montre un étaiement type et la terminologie employée pour désigner ses différentes parties. La figure 4.3-1, présentée précédemment à la section des coffrages, montre également un exemple typique d'étaiement incliné pour supporter horizontalement les coffrages.

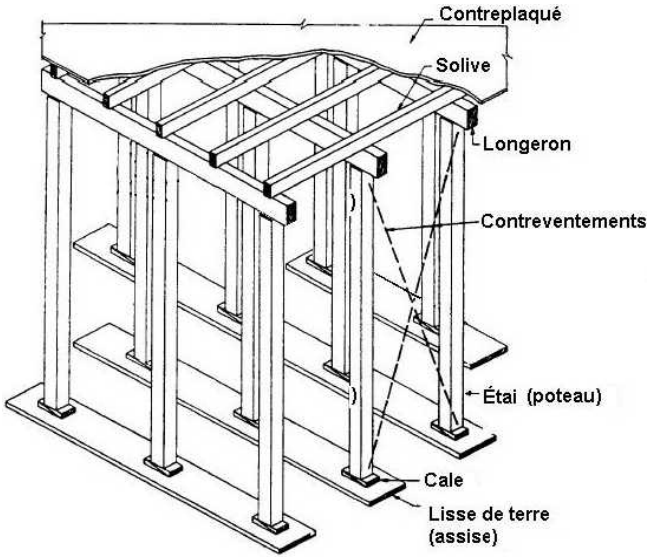


Figure 4.3-8 Terminologie d'un étaiement

Approbation des documents

Le plan de l'étaiement doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG, notamment celles relatives au délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour étudier le plan et au nombre minimal de copies à fournir selon le format ISO A1.

Le plan de l'étaiement n'a pas à être visé ni par le surveillant ni par le concepteur, puisqu'ils concernent des ouvrages temporaires. Par contre, le surveillant doit les vérifier de façon à s'assurer que les ouvrages qui y sont décrits semblent convenir aux besoins et semblent répondre aux exigences du CCDG. S'il juge que ce n'est pas le cas, il doit faire les interventions qu'il croit nécessaires auprès de l'entrepreneur. Il doit de plus s'assurer que les plans sont signés et scellés par un ingénieur.

De plus, la Loi sur la santé et sécurité au travail exige que le plan de l'étaiement soit transmis à la CSST; une copie de l'accusé de réception envoyée par cette dernière, confirmant l'envoi du document, peut être exigée de l'entrepreneur.

Mise en place de l'étaiement

La plupart des problèmes relatifs à un étaiement ne sont pas dus à des erreurs de conception, mais plutôt à des erreurs d'exécution.

Le rôle du surveillant consiste, d'une part, à s'assurer que le sol sur lequel s'appuie l'étaiement semble conforme aux exigences du plan; cette vérification devrait être faite au tout début de la mise en place de l'étaiement. Il faut aussi qu'il veille à ce que les assises de l'étaiement soient stables et suffisamment éloignées d'un sol en pente. Le sol sous les assises de l'étaiement doit aussi être bien drainé afin d'éviter toute perte de capacité lors d'une pluie ou d'un autre évènement semblable. Si l'étaiement est construit sur un sol gelé, il faut s'assurer que l'enlèvement de l'étaiement puisse se faire avant le dégel; si ce n'est pas le cas, il faut excaver le sol gelé et remplir l'excavation d'un matériau non gélif. Même si l'enlèvement de l'étaiement est prévu avant le début normal du dégel, il serait tout de même avisé de planifier l'installation d'une certaine épaisseur de matériau non gélif sous les assises de l'étaiement en cas de dégel hâtif.

Le rôle du surveillant consiste ensuite à observer les travaux de mise en place de l'étaiement. Son attention devrait surtout porter sur le montage des éléments principaux tels les poteaux et les contreventements. Il peut arriver que l'entrepreneur désire apporter des modifications au plan de l'étaiement en cours de réalisation. Si cette situation se présente, l'entrepreneur se doit d'obtenir un plan révisé de l'ingénieur qui a préparé le plan original. Le plan révisé devrait être remis ensuite à la CSST et au surveillant avant la poursuite des travaux.

Tout comme pour les coffrages, chaque pièce composant les étaiements doit être saine. Tout poteau présentant une déformation selon son axe longitudinal doit être rejeté ou renforcé selon les indications de l'ingénieur signataire des plans de l'étaiement.

Lorsque la mise en place de l'étaiement est terminée, il est exigé au CCDG que l'entrepreneur obtienne d'un ingénieur un avis signé attestant que l'ouvrage répond en tous points au plan soumis, y compris en ce qui a trait au sol sur lequel repose l'étaiement. Cet avis doit faire référence au plan de l'étaiement soumis ou, le cas échéant, au plan révisé lors de la mise en place de l'étaiement. L'avis doit être remis au surveillant avant le bétonnage. Mentionnons que l'inspection de l'étaiement doit être faite par l'ingénieur qui signe l'avis en attestant la conformité; il ne peut pas déléguer cette activité à une autre personne car le Ministère tient à ce que l'inspection soit faite par un ingénieur compte tenu des graves conséquences qui peuvent découler d'un vice de construction. Il n'est pas nécessaire que l'ingénieur signataire de cet avis soit le même que celui qui a préparé le plan.

Lors de la construction d'un étaiement au-dessus d'une voie ouverte à la circulation, la base de celui-ci doit être protégée du trafic routier. La protection demandée est normalement spécifiée dans le devis spécial et devrait aussi être conforme aux exigences de l'article 10.3.9.2.1 « Glissières en béton pour chantier » du CCDG. La largeur et la hauteur du passage libre doivent être conformes aux exigences du devis spécial. Le surveillant se doit d'aviser le responsable de la DGT concernée, chargé d'informer la personne en charge de l'attribution des permis spéciaux à la Direction générale des structures (DGS) du Ministère, des restrictions de largeur et de hauteur imposées au trafic et des dates de début et de fin prévues de l'obstruction.

De plus, rappelons que le raccourcissement élastique et la cambrure d'un tablier construit en béton précontraint par post-tension doivent se faire librement lors de la mise en tension de l'armature de précontrainte pour ne pas induire des pertes de précontrainte parasitaires. L'étaiement et les coffrages, par exemple, ne doivent pas entraver la déformation de la structure lors de cette opération.

Enlèvement de l'étaiement

L'étaiement peut être enlevé seulement lorsque le béton de l'ouvrage a atteint 70 % de sa résistance à la compression spécifiée à vingt-huit (28) jours, sauf dans le cas d'un tablier en béton précontraint par post-tension pour lequel les exigences sont différentes. Cette exigence est valide autant pour les étaiements verticaux que pour ceux qui supportent les coffrages latéralement.

Les éprouvettes qui servent à mesurer l'atteinte de cette résistance doivent être maintenues dans les mêmes conditions que l'ouvrage, c'est-à-dire que les cylindres doivent rester au chantier dans un endroit représentatif des variations de température subies par l'ouvrage. Les éprouvettes devraient être placées dans un contenant non isolé et fermé, qui permet d'éviter leur manipulation accidentelle. Il faut éviter d'exposer les éprouvettes directement aux rayons du soleil ou les placer dans une section chauffée de façon trop importante par ces derniers. Lorsque les éprouvettes servent à valider l'atteinte de la résistance d'un béton mûri sous abri, il faut éviter de placer les éprouvettes à proximité d'un appareil de chauffage, ce qui pourrait surestimer la résistance réelle de l'ouvrage.

Les appareils qui reproduisent les conditions de température de l'ouvrage au moyen de mesures par thermocouples, communément appelés systèmes « sure-cure », peuvent également être utilisés à cette fin, dans la mesure où leur calibration est adéquate.

Lorsqu'aucune éprouvette n'a été prélevée, le surveillant doit traiter cette situation selon la clause des travaux défectueux (référence section 7.10 du CCDG) et appliquer un délai qui sera jugé approprié. Le concepteur peut aussi être consulté dans ces cas.

Dans le cas d'un tablier en béton précontraint par post-tension, l'étaiement ne doit pas être enlevé avant la mise en tension des torons et avant que le coulis injecté dans les gaines de précontrainte ait atteint une résistance de 20 MPa. En effet, la capacité de ce type de pont est presque exclusivement fournie par les torons; le coulis, quant à lui,

permet l'adhérence de ceux-ci au béton environnant en plus de la protection contre la corrosion. Il est important d'obtenir la résistance de 20 MPa du coulis afin que cette adhérence soit effective lors de l'enlèvement de l'étaiement.

4.3.3 Armature

L'armature est fabriquée selon différents diamètres, à partir de la barre 10M jusqu'à la barre 55M. Le numéro de la barre fait référence à son diamètre approximatif; par exemple, une barre 10M a un diamètre de 11,3 mm alors qu'une barre 25M en a un de 25,2 mm. Il est donc facile de distinguer la dimension d'une barre par rapport à une autre en faisant référence à son numéro. Le tableau 4.3-2 montre les caractéristiques en mesures métriques des aciers d'armature.

Les caractéristiques des barres d'armature étaient autrefois définies en mesures impériales. Le numéro de la barre dans ce système de mesures fait référence au diamètre de la barre en huitièmes de pouce. Par exemple, une barre n^{o} 5 a un diamètre de 5/8 de pouce alors qu'une barre n^{o} 7 en a un de 7/8 de pouce. Le tableau 4.3-3 montre les caractéristiques en mesures impériales de l'armature. Ce tableau est fort utile pour trouver une équivalence métrique lors du remplacement de barres existantes.

Tableau 4.3-2 Caractéristiques de l'armature (mesures métriques)

Nomenclature des barres	**Dimensions nominales**			
	Masse linéique kg/m	**Diamètre nominal (mm)**	**Diamètre avec les crénelures (mm)**	**Aire de la section (mm^2)**
10M	0,785	11,3	13	100
15M	1,570	16,0	18	200
20M	2,355	19,5	22	300
25M	3,925	25,2	28	500
30M	5,495	29,9	33	700
35M	7,850	35,7	39	1 000
45M	11,775	43,7	48	1 500
55M	19,625	56,4	62	2 500

Tableau 4.3-3 Caractéristiques de l'armature (nomenclature en mesures impériales)

Nomenclature des barres	Dimensions nominales		
	Masse linéique kg/m	Diamètre théorique (mm)	Aire de la section (mm^2)
n° 3	0,56	9,5	71
n° 4	1,01	12,8	129
n° 5	1,57	16,0	200
n° 6	2,23	19,0	284
n° 7	3,04	22,2	387
n° 8	4,00	25,5	510
n° 9	5,06	28,7	645
n° 10	6,42	32,3	818
n° 11	7,90	35,8	1 006
n° 14	11,40	43,0	1 452
n° 18	20,26	57,3	2 581

Bordereaux

Avant le début des travaux, le surveillant se doit de vérifier de façon générale les bordereaux d'armature donnés sur les plans afin de s'assurer que chaque type de barre apparaissant sur les plans est bien inclus sur le bordereau; il faudrait aussi vérifier que le nombre de barres indiqué sur le bordereau pour chaque type de barre correspond approximativement au nombre de barres mentionné sur les plans.

Ce travail de vérification doit s'effectuer le plus tôt possible, de façon à pouvoir, le cas échéant, aviser l'entrepreneur d'une erreur et ainsi possiblement éviter les frais qui y seraient associés. Mentionnons que ces frais concernent principalement la perte de temps en chantier plutôt que le coût de l'acier oublié sur le bordereau. De plus, la vérification des bordereaux d'armature constitue une bonne façon d'étudier les plans d'une structure. En effet, ce travail oblige à se pencher sur toutes les parties de l'ouvrage, à analyser les détails particuliers de la réalisation et à noter au passage les difficultés à anticiper.

Bien qu'il soit courant pour l'entrepreneur de commander l'armature selon les bordereaux montrés sur les plans, la plupart des fournisseurs d'armature ont l'habitude de refaire les bordereaux sur des formulaires ou des plans qui leur sont propres, de façon à faciliter la tâche des ouvriers chargés du façonnage.

La plupart des entrepreneurs retransmettent les plans produits par leur fournisseur d'armature (souvent appelés plans de pose) au surveillant pour acceptation. Il est fortement recommandé de ne pas viser ces plans, car le surveillant n'a pas à s'immiscer dans les procédures internes des fournisseurs, d'autant plus qu'il serait probablement interpellé pour toute erreur qui aurait pu s'y glisser. Par contre, le surveillant se doit de vérifier si des modifications sont effectuées par l'entrepreneur ou son sous-traitant par rapport aux bordereaux des plans émis pour construction. Les modifications, le cas échéant, doivent cependant être mises en évidence et identifiées distinctement par l'entrepreneur. Cette exigence du CCDG vise à éviter que le surveillant ait à examiner barre par barre les plans de pose afin d'y déceler les changements. Le CCDG ne va pas jusqu'à préciser comment identifier les changements, mais ce peut être, par exemple, au moyen de nuages, de triangles chiffrés ou de note distincte des plans.

Le surveillant doit transmettre au concepteur, par le biais d'une demande de modification technique (DMT), tout changement aux armatures qui a un impact sur la structure à construire. Parmi des exemples de changements à transmettre au concepteur, citons l'ajout de jonctions par recouvrement dans le fût des piles ou dans les chevêtres, le remplacement d'étriers fermés par des étriers de forme double « U » ou une modification des grosseurs ou du nombre de barres dans un élément.

Réception des armatures en chantier

Dès la réception des armatures en chantier, l'entrepreneur doit s'assurer que ceux-ci sont déposés sur des supports suffisamment rapprochés pour éviter qu'ils se salissent ou s'endommagent. Les barres ne doivent pas être entreposées directement sur le sol ni être en contact avec de l'eau. Les différents types de barres devraient être classés par paquets distincts de manière à ne pas les confondre lors de la pose. Le surveillant ne doit pas hésiter à intervenir auprès de l'entrepreneur si les conditions d'entreposage ne sont pas satisfaisantes.

Une fois l'armature entreposée correctement, il faut s'assurer de la conformité des armatures livrées. Il faut d'abord vérifier la provenance de l'armature en s'assurant de la concordance des symboles utilisés pour le marquage des barres visibles sur l'armature livrée. Ces marques d'identification permettent d'identifier l'aciérie, la grosseur de la barre, le type d'acier et sa limite minimale d'élasticité. Les marques d'identification des aciéries canadiennes détenant un certificat ISO 9001 apparaissent au tableau 4.3-4.

Tableau 4.3-4 Marques d'identification des aciéries canadiennes détenant un certificat ISO

Aciéries canadiennes	**Marques d'identification**
ArcelorMittal (Usine de Contrecoeur-ouest)	
ArcelorMittal (Usine de Contrecoeur-est)	
ArcelorMittal (Usine de Longueuil)	
Gerdau (Usine de Cambridge)	
Gerdau (Usine de Whitby)	

Puisque le Ministère exige que l'armature ne soit que du type soudable, ou weldable en anglais, le symbole d'identification W doit se trouver sur toutes les barres d'armature utilisées, que celles-ci soient galvanisées ou non. Cette exigence s'impose afin d'éviter la fragilisation de l'acier lors du processus de galvanisation. Même si l'acier n'est pas galvanisé, le Ministère exige tout de même un acier de type W pour éviter toute confusion possible entre les armatures galvanisées et non galvanisées. De plus, l'acier de type W est un acier de meilleure qualité que celui de type R, puisqu'il est fabriqué à l'intérieur de tolérances plus serrées.

Les symboles relatifs à la grosseur de la barre et à la limite minimale d'élasticité doivent aussi être vérifiés, afin de s'assurer qu'ils correspondent aux exigences des plans.

Les armatures sont livrées par paquets au chantier selon les types de barres; ces paquets ou groupes de barres ont chacun une étiquette identifiant les barres. La longueur des barres, l'emplacement et le façonnage des crochets ainsi que le façonnage des étriers et autres barres doivent être vérifiés.

Une attention spéciale doit être prêtée au façonnage des barres pour s'assurer que les rayons de courbure ont été respectés. De même, il faut veiller à la qualité du façonnage des barres, car il arrive parfois que leurs dimensions excèdent celles des plans; cette situation se présente notamment lorsque l'équipement servant à plier les barres est utilisé avec un trop grand nombre de barres à la fois.

Lors du pliage des armatures, il est nécessaire de respecter les diamètres de courbure minimums donnés dans la norme 5101 du Ministère. Les exigences de la norme sont reproduites au tableau 4.3-5. Il faut respecter cette exigence pour ne pas endommager par fragilisation les barres lors du pliage Le surveillant doit rejeter toutes les barres pliées qui ont un diamètre de courbure non conforme.

Tableau 4.3-5 Diamètre de courbure minimal

Barres d'armature	**Diamètre de courbure minimal**
10M, 15M, 20M	6 fois le diamètre nominal de la barre
25M, 30M, 35M	8 fois le diamètre nominal de la barre
45M, 55M	10 fois le diamètre nominal de la barre

Le CCDG indique que les tolérances concernant la longueur et le pliage des armatures sont celles apparaissant à la figure 6-1 du *Manuel de normes recommandées* de l'Institut d'acier d'armature du Canada. La tolérance quant aux diamètres de courbure minimaux est cependant réduite dans le CCDG par rapport à ce qui apparaît dans ce document. Ainsi, les diamètres de courbure minimaux ne peuvent être réduits de plus de 10 % par rapport aux valeurs indiquées dans le tableau présenté ci-dessus.

C'est donc dire que, par exemple, pour une barre 15 M, dont le diamètre nominal est de 16 mm, le diamètre de courbure minimal est de 96 mm. La tolérance quant à la courbure du *Manuel de normes recommandées* est de 25 mm, mais, comme le CCDG limite à 10 % la tolérance, celle-ci est plutôt, dans ce cas, de 9,6 mm, ce qui signifie que le diamètre minimal de pliage en considérant la tolérance serait de 86 mm. Pour une barre 35 M, le diamètre minimal serait de 286 mm et la tolérance de 25 mm.

Il est très rare qu'une barre d'armature soit complètement exempte de rouille, même lorsque son entreposage est effectué correctement. Quelques taches de rouille ou même un film très mince de rouille adhérente sur toute la barre ne justifient pas son rejet. Des études ont même démontré qu'une légère rouille améliore l'adhérence; il faut, par contre, faire preuve de jugement et rejeter catégoriquement toute barre présentant de la rouille en feuillets à sa surface ou, pire, une perte de section. Précisons que les problèmes de corrosion sur les barres au chantier ont tendance à être observés surtout sur les barres de gros diamètre, car le roulement des stocks est plus lent chez les fournisseurs pour ces barres, ce qui accroît leur temps d'entreposage.

Barres d'armature galvanisées

Dans le cas des barres galvanisées, il faut d'abord vérifier que la qualité de la galvanisation est adéquate. Toute barre qui se trouve dans une masse compacte,

retenue à d'autres barres par le zinc du bain de galvanisation ou recouverte de scories, doit être rejetée et retournée à l'usine pour y reprendre le processus de galvanisation, puisque ces défauts cachent un manque de galvanisation.

Mentionnons que pour les barres d'armature à haute résistance (ex. : Diwidag ou Williams), la préparation des surfaces inclut un décapage chimique de courte durée, appelé « flash pickling » en anglais; les deux entreprises reconnues par le Ministère pour la galvanisation de ces barres sont Pure Metal Galvanizing (pour le fabricant de barres Dywidag-Systems International) et Galv Cast MGF inc. (pour le fabricant de barres Williams Form Hardware and Rockbolt Canada ltd.).

Il faut ensuite vérifier si la coupe des armatures a été réalisée avant ou après la galvanisation; dans ce dernier cas, il faut s'assurer que les extrémités coupées sont enduites d'un enduit riche en zinc comme mentionné au CCDG, à la section 15.14.2.2. À titre indicatif, une liste des enduits correspondant aux exigences du Ministère pour cet usage est publiée à la section « Galvanisation » du chapitre 14 du présent manuel.

Dans le cas des barres galvanisées pliées, il faut aussi vérifier si les barres d'armature pliées ont bien été galvanisées avant le façonnage. En effet, tout pliage réalisé avant la galvanisation peut entraîner la fragilisation par l'hydrogène de certaines barres, ce qui est évidemment inacceptable pour l'intégrité de la structure. Les galvaniseurs ont affiné leur procédé afin de diminuer l'épaisseur de zinc sur les barres (de plus de 200 μ à moins de 150) afin de permettre le pliage sans entraîner d'écaillage important du zinc.

Étant donné que pour un certain pourcentage de barres, il y aura tout de même un écaillement partiel du zinc au niveau du rayon de pliage, il est spécifié à l'article 15.14.2.2 du CCDG qu'une surface maximale d'écaillement (c'est à dire décollement de la couche extérieure de zinc soit par brossage ou par l'utilisation d'un outil pointu comme un couteau) est permise. La fissuration du revêtement, sans écaillage, n'est pas considérée comme un défaut puisque la protection offerte par le zinc est de type électrochimique. Les surfaces non recouvertes de zinc sont donc tout de mêmes protégées dans la mesure où du zinc se retrouve à proximité.

Il est spécifié que la surface totale maximale acceptable d'écaillement au niveau du rayon de pliage soit équivalente à la section transversale d'une barre, soit par exemple :

- 200 mm^2 pour une barre 15M;
- 300 mm^2 pour une barre 20M.

Le surveillant se doit d'être attentif et de rejeter toute barre présentant un écaillage excédant ces valeurs après brossage.

Mentionnons qu'il n'est pas nécessaire de vérifier l'épaisseur du zinc des armatures, car le procédé de galvanisation fait en sorte que l'épaisseur est bien supérieure au minimum exigé.

Le surveillant doit s'assurer que les armatures sont libres de rouille blanche, autant au moment de la livraison des barres au chantier qu'au moment du bétonnage. La rouille blanche est un phénomène de corrosion de la couche de zinc qui se produit dans les premières semaines à la suite de la galvanisation à cause d'un mauvais entreposage. Une pièce affectée par la rouille blanche présente une couche farineuse adhérée au zinc en surface. Toute barre présentant de la rouille blanche doit être rejetée (voir l'article 15.14.2.2.2 du CCDG) afin d'éviter une baisse d'adhérence entre le béton et l'armature.

À noter que les jonctions mécaniques doivent être galvanisées si les armatures à relier le sont aussi comme cela est demandé à l'article 15.4.1.2 du CCDG. Cette exigence de galvanisation des jonctions mécaniques ne s'applique cependant pas à celles qui comportent des pièces mobiles (ex : manchons de positions, bar-lock, etc.) car la galvanisation gênerait le mouvement de ces pièces.

Il est important de procéder à l'ensemble des vérifications mentionnées précédemment dès la réception de l'acier en chantier. Cette diligence permet d'apporter rapidement les correctifs nécessaires et, généralement, de réduire au minimum, sinon d'annuler toute conséquence négative sur l'échéancier des travaux.

Mise en place des armatures

Si une erreur s'est produite lors de la mise en place des armatures, il sera impossible de la déceler ou d'en évaluer l'importance une fois le bétonnage achevé. Il est donc important que le ferraillage se déroule correctement et que l'entrepreneur prenne toutes les mesures possibles pour y arriver. Si une erreur est détectée en cours de route, il faut en aviser immédiatement l'entrepreneur pour éviter que cette erreur se répercute sur le ferraillage d'autres éléments ou portions d'éléments à bétonner plus tard.

Plusieurs conditions doivent être respectées pour que les travaux de ferraillage soient pleinement réussis. Il faut d'abord que les ouvriers aient en main les plans nécessaires. Cela peut sembler une évidence, mais cette condition n'est pas toujours remplie. Le surveillant n'a pas à se substituer à l'entrepreneur et à lui dire où mettre chacune des armatures. Il faut que les ouvriers puissent lire les plans, ce qui n'est pas toujours le cas. Il faut aussi que les ouvriers travaillent avec la dernière version des plans qui comportent toutes les corrections, s'il y lieu. Il faut finalement que les ouvriers soient au fait des nombreuses exigences du Ministère tant en ce qui concerne l'enrobage de béton au-dessus des armatures que les types de cales à utiliser, les tolérances et le pliage des armatures.

Idéalement, une courte réunion devrait être organisée avant de commencer la mise en place des armatures afin de s'assurer que les exigences du Ministère sont connues et comprises du sous-traitant chargé des travaux. Chacun des intervenants devrait prendre le temps de bien lire les plans et de visualiser le travail à effectuer.

Bien que la vérification de la condition des armatures ait été effectuée lors de leur réception sur le chantier, il est très important de voir à ce qu'aucune barre sale, recouverte de terre, de rouille excessive (comportant des feuillets ou réduisant la section de la barre), d'huile ou de peinture ne soit mise en place afin de ne pas réduire l'adhérence de l'interface armature-béton. De même, aucune barre déformée, tordue ou dont le recouvrement de zinc est endommagé ne doit être installée.

Mise en place des armatures – capacité structurale

Pour illustrer l'importance de la position des armatures sur la résistance, prenons l'exemple d'une poutre de béton de 500 mm de hauteur sur 300 mm de largeur. Si quatre barres 20M sont placées à 75 mm de la face inférieure de la poutre, la résistance de la poutre est de 153 kN-m. Si ces barres sont placées 50 mm plus haut, c'est-à-dire à 125 mm de la face inférieure de la poutre, la résistance de la poutre baisse à 134 kN-m. Si nous considérons qu'environ 50 % des sollicitations sont des charges permanentes, cette perte de résistance entraîne une perte approximative de 30 % de la capacité à soutenir les surcharges routières. Cette diminution de résistance entraînera divers problèmes de fissuration du béton.

Les barres ne peuvent être regroupées en faisceaux (bundle en anglais) que lorsque les plans l'indiquent. Cette exigence de la norme CAN/CSA A23.1 est importante, car tout regroupement non prévu peut réduire de façon significative la capacité structurale de l'élément, puisque la surface « béton-armature » est moindre une fois les barres regroupées, ce qui augmente les longueurs de développement. L'efficacité des jonctions par recouvrement est aussi diminuée lorsque les barres sont ainsi regroupées

Dans certains cas, la forme et l'aspect d'une barre peuvent être importants structuralement. C'est le cas entre autres des étriers qui ceinturent les armatures verticales des colonnes; en effet, ces barres sont la plupart du temps, constituées de barres formant une forme fermée (rectangulaire, carrée ou circulaire selon la forme de la colonne). Ces étriers ne peuvent pas être remplacés par des étriers ayant une forme de « double U » avec une jonction par chevauchement, car le comportement sismique de la pile en serait ainsi affecté.

Les armatures peuvent aussi servir à reprendre les efforts de tension occasionnés par les variations volumétriques du béton, notamment celles dues aux changements de température. Ces armatures sont appelées « acier de température ». La face avant d'un mur de soutènement ou d'un mur garde-grève sont des exemples d'utilisation d'acier de température. Les aciers de température jouent un rôle important pour assurer la durabilité de l'ouvrage.

Une fois le principe de reprise des efforts bien assimilé, il est plus facile de comprendre le rôle important du positionnement des armatures dans un coffrage. Puisque le concepteur a prévu des barres d'armature de diamètre spécifique à des endroits précis afin de reprendre les efforts de tension là où ils sont, et ce, en fonction des différents chargements, chaque barre d'armature doit donc être mise en place selon les indications des plans.

Mise en place des armatures – enrobage

L'entrepreneur doit mettre les armatures en place de manière à respecter l'enrobage de béton demandé sur les plans. Si ce dernier n'y est pas indiqué, les valeurs de l'enrobage mentionnées dans le *Tome III – Ouvrages d'art* des normes du Ministère s'appliquent.

L'importance de la position des armatures pour la durabilité d'une structure est liée à l'épaisseur de l'enrobage de béton de ces armatures. Le béton est un matériau poreux et, comme tous les matériaux poreux, il absorbe les liquides comme le fait une éponge. Si l'eau absorbée par une structure de béton contient des contaminants, comme des sels de déglaçage, ceux-ci pénétreront à l'intérieur de la structure de béton et se déplaceront progressivement de la surface vers le cœur de l'ouvrage. Lorsque les sels de déglaçage atteignent les armatures, le processus de corrosion s'enclenche rapidement. La majorité des détériorations des structures de béton armé sont dues à une épaisseur insuffisante de l'enrobage de béton au-dessus des armatures. Une protection insuffisante des armatures entraînera leur corrosion et, éventuellement, le délaminage du béton. De façon générale, précisons que le recouvrement de béton influe directement sur la durée de vie d'une structure.

Il est précisé au CCDG que l'épaisseur de béton demandée au-dessus des fils servant à fixer les armatures par ligature est la même que celle spécifiée pour les armatures. Cette exigence s'impose, étant donné que le fil d'acier facilite la pénétration des chlorures vers les armatures; le fait de replier les fils fixant les armatures vers l'intérieur de l'élément à bétonner permet de préserver l'intégrité de l'enrobage demandé pour les armatures. Les ferrailleurs devraient donc réaliser le nœud de l'attache par ligature sur le côté des barres; ce nœud peut être fait sur le dessus des barres, mais il devrait par la suite être rabattu sur le côté.

Afin de s'assurer que les barres d'armature ne se déplacent pas indûment lors de la mise en place des armatures et des coffrages, de la circulation des ouvriers sur celles-ci ou lors du bétonnage, elles doivent être attachées à tous les croisements si ceux-ci sont à 300 mm ou plus, ou à tous les deux croisements si l'espacement est moindre. Le respect de ces espacements d'attache est particulièrement important dans le cas d'une dalle où des barres galvanisées sont utilisées, puisque la galvanisation réduit la friction entre les barres.

Puisque les barres d'armature doivent être fixées au moyen de fils d'acier, toutes les autres méthodes de fixation sont *de facto* interdites, notamment celle consistant à fixer les barres au moyen de points de soudure. En effet, cette dernière pratique est interdite à cause des problèmes d'amorce de fissuration et de perte de section qui y sont associés. Le CCDG fait toutefois exception à cette règle dans le cas des joints de tablier et des éléments de béton préfabriqués. Dans le premier cas, la soudure par point est permise pour s'assurer de bien fixer l'élément métallique du joint et parce que la position des soudures, au-dessus des axes d'appui, ne nuit pas à la résistance de la

dalle, qui n'est pas tellement sollicitée structuralement à cet endroit. Dans le second cas, la soudure par points est permise, car celle-ci est réalisée en usine dans des conditions contrôlées par du personnel certifié, selon une procédure bien établie.

Dans le cas de travaux de démolition partielle d'un élément de béton, les attaches des barres existantes peuvent être endommagées par l'équipement de démolition. Ces barres doivent d'abord être redressées et remises en place et, le cas échéant, elles doivent ensuite être fixées par ligature à chaque attache des coffrages de façon à respecter la valeur d'enrobage exigée et une distance d'au moins 25 mm entre les barres et le béton à conserver. Les nouvelles barres d'armature utilisées pour la réparation doivent aussi être fixées à chaque attache des coffrages. Des cales doivent également être utilisées entre les barres et les parois du coffrage même si les barres sont fixées aux attaches des coffrages. Ces exigences s'imposent afin de prévenir le déplacement des armatures vers l'intérieur de la réparation et de favoriser la préservation de l'enrobage de l'armature.

Dans le cas de barres galvanisées, le fil d'acier utilisé pour fixer les armatures doit être galvanisé. Cette exigence permet d'obtenir un niveau de protection contre la corrosion comparable à celui de l'armature.

L'enrobage de béton des armatures est assuré par l'utilisation de cales d'espacement en plastique. Le type de cales à employer varie selon les usages. Ainsi, l'épaisseur de béton entre le dessous des armatures et un coffrage horizontal ou un béton existant est donnée par des cales continues insérées sous les armatures. Pour les dalles, l'épaisseur de béton entre le dessus des armatures et le dessus du béton est donnée par des cales individuelles qui supportent les barres du rang supérieur.

Dans le cas des semelles, des radiers et des dalles de transition, le CCDG spécifie que des pavés répondant à la norme 3402 du Ministère doivent être utilisés; cette exigence est nécessaire compte tenu du poids considérable de l'armature se trouvant dans ces éléments et de la faible capacité que confère le matériel granulaire compacté au fond du coffrage. Le surveillant doit toutefois être vigilant dans ce dernier cas et éviter l'utilisation d'un empilage de pavés; cette situation se produit parfois pour les semelles lorsque la cage d'armature doit dégager un espace suffisant à la base pour la tête des pieux. Cette pratique peut créer une instabilité au niveau des supports de pavés, qui pourraient être amenés à se déplacer lors du ferraillage ou du bétonnage. L'entrepreneur devrait plutôt recourir à des barres de support pour ces cas.

L'enrobage de béton des armatures verticales est donné par des espaceurs circulaires en plastique; cependant, des cales individuelles doivent être utilisées si les armatures sont des barres 25M ou plus, car les espaceurs circulaires ne sont pas offerts sur le marché pour ces barres. Ces espaceurs doivent être posés sur les armatures situées le plus près de la face verticale du coffrage, que ces barres soient verticales ou horizontales. Les espaceurs circulaires en plastique ne peuvent pas être remplacés par un autre type de cales. En effet, elles ont la propriété de jouer leur rôle même si elles sont déplacées lors de la mise en place des armatures, des coffrages ou du béton.

L’enrobage des barres des pieux caissons est donné par des cales de type « patin ». Il s’agit d’une cale de plastique robuste de forme allongée qui se fixe sur plusieurs étriers et qui permet de glisser la cage contre les parois du tube d’acier du pieu. Précisons que ce type de cale peut aussi parfois être utilisé sur les colonnes dans le cas où les étriers seraient trop rapprochés pour y fixer des cales circulaires.

La figure 4.3-9 montre les différentes cales autorisées sur les structures du Ministère.

Il est important de noter que les cales de type « blocs de béton », qui ne doivent pas être confondues avec les pavés, ne sont pas acceptées, car elles sont généralement composées d’un mortier qui possède des caractéristiques de capacité et de durabilité bien moindres que celles des bétons employés par le Ministère. En effet, les blocs se brisent facilement lorsque les ouvriers circulent sur les armatures; de plus, une étude de la Direction générale du laboratoire des chaussées (DGLC) du Ministère a démontré que leur porosité élevée facilite l’entrée des sels de déglaçage dans la structure, entraînant ainsi une détérioration prématurée.

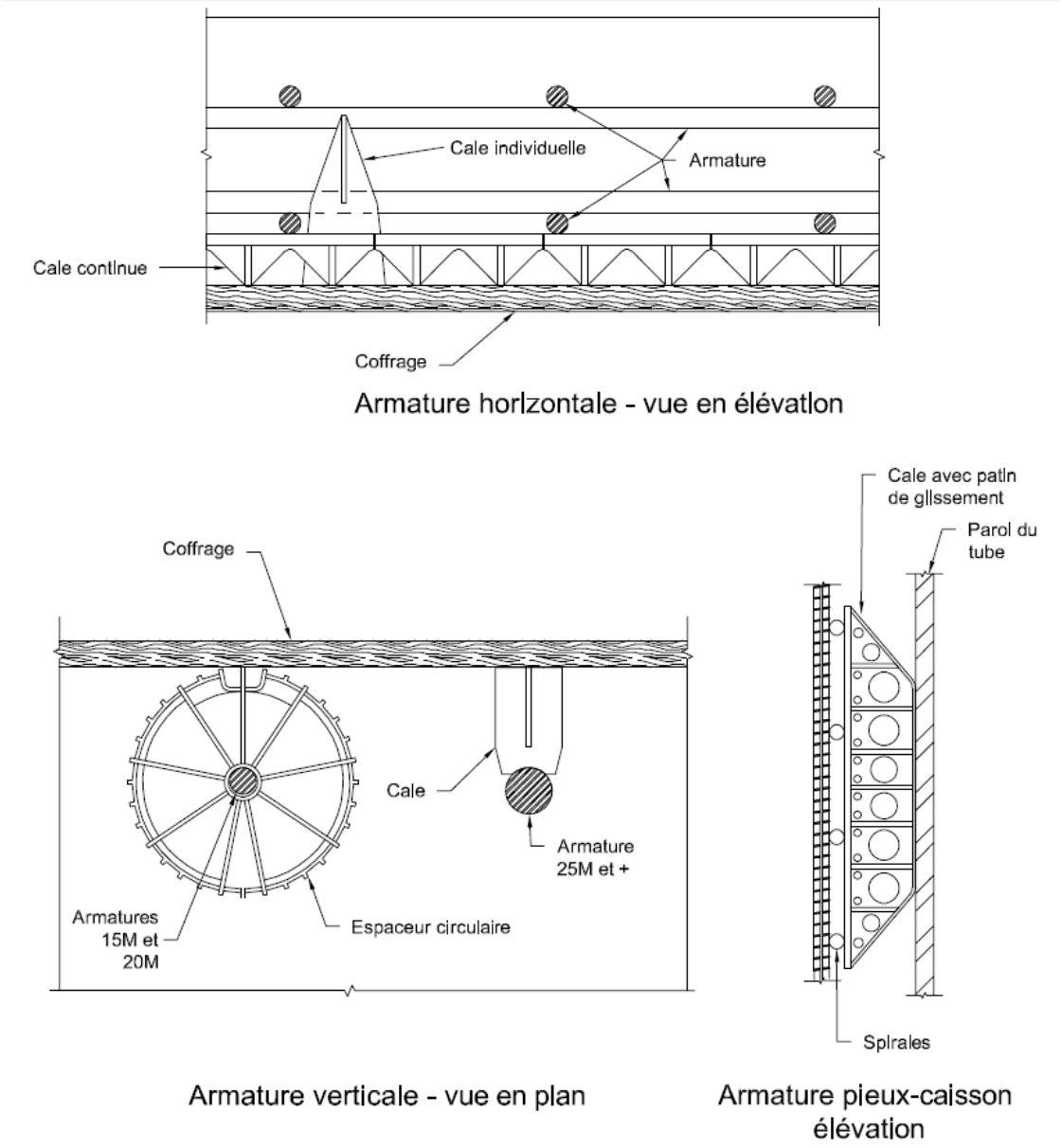


Figure 4.3-9 Cales types en plastique

L'espacement maximal entre les cales, soit 1 200 mm de centre à centre, est le même que celles-ci soient utilisées sur des armatures verticales ou horizontales. La distance maximale de 1 200 mm est nécessaire pour que les barres restent bien droites entre deux cales. Des cales additionnelles doivent être ajoutées si l'enrobage n'est pas respecté entre les cales mises en place à 1 200 mm de centre à centre; cela s'impose entre autres vis-à-vis d'une jointure par chevauchement de deux barres. Des cales devraient aussi être positionnées au droit d'un changement de direction de la face d'un élément; si le changement de direction est brusque, comme dans le cas d'un coin à 90°, une cale devrait être positionnée avant et après le changement de direction.

L'utilisation de cales à un espacement maximal de 1200 mm permet aussi de minimiser l'impact négatif d'une cale qui serait brisée ou déplacée lors des opérations de ferraillage et qui ne serait donc plus en mesure de jouer son rôle de support lors du bétonnage.

Les cales doivent avoir une dimension qui correspond avec le recouvrement théorique prévu aux plans. Cette exigence du CCDG vise surtout à éviter que les entrepreneurs se servent des tolérances quant au recouvrement pour diminuer ce dernier au moyen des cales. Ainsi, si le recouvrement demandé sur un ouvrage est de 75 mm, la cale doit avoir 75 mm (3 po) et non 63 mm (2½ po), cette dernière valeur correspondant au recouvrement des plans soustrait de 12 mm, qui est la tolérance quant au recouvrement (voir la section suivante).

Le recouvrement des armatures est en général prévu aux plans, mais il existe quelques cas d'exception, comme les réparations sans surépaisseur; dans une telle situation, le recouvrement des armatures est fixé par le recouvrement d'origine des armatures existantes. Lors de la préparation des travaux, ce recouvrement est souvent inconnu. S'il s'avère impossible de respecter un enrobage minimal de 30 mm dans la réparation, le surveillant doit consulter le concepteur afin d'évaluer la possibilité d'utiliser une réparation d'ensemble avec coffrages et surépaisseur. Cette dernière solution ne doit être envisagée qu'après avoir conclu qu'une réparation avec coffrages et augmentation de l'épaisseur de l'enrobage de béton au-dessus des armatures n'est pas suffisante.

Mise en place des armatures – tolérances

Les tolérances sur l'emplacement des armatures sont données à l'article 6.6.8 de la norme CAN/CSA A23.1. Ces tolérances sont contractuelles par le préambule de l'article 15.4.3 « Mise en œuvre » du CCDG. Elles sont reproduites au tableau 4.3-6. La figure 4.3-10 donne un exemple d'application des tolérances; même si l'élément de pont indiqué est peu utilisé, il permet de très bien visualiser les tolérances citées dans la norme.

Tableau 4.3-6 Tolérances de pose de l'armature – béton coulé en place

	Tolérance
– Enrobage des armatures (recouvrement)	± 12 mm[1] (Sans réduire de plus du tiers l'enrobage spécifié)
– Position des armatures si la profondeur d'un élément en flexion, l'épaisseur d'un mur ou la plus petite dimension d'un poteau est :	
• 200 mm ou moins	± 8 mm
• Supérieure à 200 mm mais inférieure à 600 mm	± 12 mm
• 600 mm et plus	± 20 mm
– Espacement latéral des armatures	± 30 mm
– Emplacement longitudinal des courbures (pliages) et des extrémités d'armatures	± 50 mm
– Emplacement longitudinal des courbures et des extrémités d'armatures aux extrémités non continues des éléments	± 20 mm

Note 1 : La tolérance du recouvrement du dessus d'une dalle est ± 5 mm (CCDG).

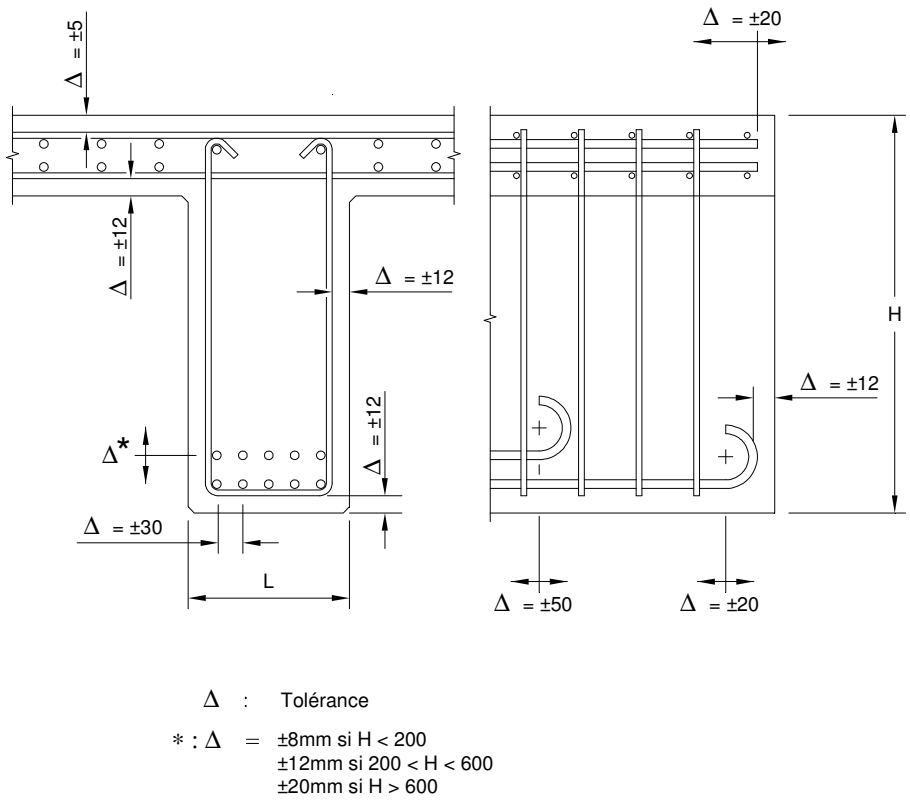


Figure 4.3-10 Tolérances de pose de l'armature – exemple d'une poutre

Précisons que les tolérances de placement des barres ne doivent pas faire en sorte de ne pas respecter d'autres exigences de la norme S6, comme la distance minimale libre entre des barres. Cet espacement, prévu à l'article 8.14.2, correspond à la plus petite des valeurs suivantes : 1,5 fois le diamètre nominal des barres, 1,5 fois la grosseur maximale du granulat du béton et 40 mm.

Pliage et coupage des armatures en chantier

Le façonnage des nouvelles armatures incorporées dans un pont, tablier ou autre élément neuf est effectué en usine. Le pliage des armatures est alors fait dans des conditions idéales au moyen d'équipements spécialisés.

Le pliage des armatures en chantier est plus problématique. Il peut arriver qu'un entrepreneur désire plier en chantier des barres d'armature excédant d'un premier bétonnage afin de faciliter l'exécution d'autres travaux. Un exemple typique de cette situation est le pliage des barres de dalle entre deux phases de travaux.

Le pliage des barres non galvanisées 20M ou moins peut être effectué en chantier, mais cette pratique devrait être limitée à un seul pliage et dépliage; en effet, le pliage répété au même endroit fragilise la barre, un peu à la manière d'un trombone à papier qui se brise lorsque plié à répétition.

À moins d'une indication contraire sur les plans, le pliage des barres en chantier devrait être limité au redressement des barres existantes qui auraient pu être tordues ou pliées lors de la démolition partielle d'un élément de pont. Le pliage des armatures doit alors être fait mécaniquement et à froid; il est interdit de chauffer une barre pour faciliter le pliage, car cela l'endommagerait.

Lorsque des barres doivent être pliées au chantier dans les cas mentionnés ci-dessus ou lorsqu'un ajustement des pliages de barres s'avère nécessaire pour assurer un bon ferraillage, l'entrepreneur doit se servir d'outils appropriés; les plus courants sont la barre de pliage, qui est une tige munie d'un embout à trois points, et la plieuse mécanique. Dans ce dernier cas, le surveillant se doit d'être particulièrement attentif aux rayons de pliage et rejeter toute armature dont le pliage ne respecterait pas les diamètres minimaux de la norme 5101 du Ministère. Il en va de même pour l'armature galvanisée; dans ce cas, le pliage ne devrait pas causer d'écaillage.

La coupe de barres d'armature galvanisées n'est pas recommandée, parce qu'il n'est pas possible de redonner à la barre la même protection que celle effectuée en usine. Si le surveillant doit autoriser une telle coupe, faute d'une autre option raisonnable, celle-ci doit être effectuée au moyen d'une scie à métaux. La surface de coupe des barres droites doit être enduite d'une couche de peinture riche en zinc décrite dans la partie de ce chapitre portant sur la réception des armatures en chantier. De plus, l'extrémité de la barre coupée doit être placée à l'endroit de l'ouvrage où les conséquences possibles sur la durabilité de celui-ci seraient moindres. Par exemple, si la barre coupée est une barre verticale, l'extrémité coupée devrait être positionnée vers le bas de l'ouvrage. De même, si la barre coupée est une barre de dalle, l'extrémité coupée devrait être positionnée près du point haut transversal, c'est-à-dire loin des côtés extérieurs du pont.

Mise en place des armatures – jonctions

Les jonctions sont spécifiées sur les plans dans certains cas particuliers comme lorsque des éléments sont réalisés en phases ou lorsque des barres individuelles sont trop courtes pour couvrir un élément d'une seule longueur. Les jonctions se trouvent la plupart du temps sous forme de chevauchements et quelques rares fois sous forme de jonctions mécaniques. Le CCDG précise que les jonctions d'armatures sont effectuées par recouvrement à moins d'avis contraire sur les plans. Il peut arriver en effet que dans certains cas, le concepteur précise l'utilisation de jonctions mécaniques. Ces jonctions mécaniques peuvent parfois nécessiter de fileter les extrémités des barres jointes. Précisons que si de telles jonctions sont précisées aux plans ou au devis, le surveillant ne devrait pas accepter de substitutions par des jonctions par recouvrement sans l'accord du concepteur.

Lorsque des jonctions par recouvrement sont employées, les longueurs de chevauchement sont indiquées sur les plans. Si ce n'est pas le cas, il faut considérer un chevauchement de 600 mm pour des barres 15M et un chevauchement de 700 mm pour des barres 20M; le surveillant doit consulter le concepteur lorsque les barres à chevaucher sont d'un diamètre plus grand.

Précisons aussi que le devis spécial exige de ne pas diminuer les valeurs des jonctions par recouvrement en utilisant les tolérances de placement. Ainsi, si les plans prévoient une jonction par recouvrement de 600 mm entre deux barres, cette valeur peut être supérieure, mais ne peut en aucun cas être inférieure.

Seules les jonctions demandées sur les plans sont acceptées, sauf s'il s'agit d'une réparation avec coffrages et surépaisseur. En effet, dans ce dernier cas, l'exigence du CCDG relative à l'utilisation de barres d'armature d'une longueur d'au moins 6 m s'applique, surtout pour les travaux d'entretien où le ferraillage n'est pas toujours détaillé sur les plans. En d'autres termes, si la dimension de l'élément à bétonner est inférieure à 6 m, aucune jointure n'est autorisée. Cette exigence s'impose afin d'éviter que l'entrepreneur utilise une multitude de barres de faible longueur. Lorsque ce dernier envisage de faire des jonctions non spécifiées sur les plans, le surveillant doit toujours consulter le concepteur, car lui seul est habilité à accepter un tel changement.

Dans le cas de travaux de réparation d'un élément de béton, il est exigé au CCDG que l'entrepreneur ajoute des barres additionnelles en cas de corrosion importante des barres existantes. Une jonction par chevauchement d'au moins 600 mm doit être alors prévue entre les barres existantes et les nouvelles; pour des considérations structurales, l'entrepreneur peut avoir à démolir du béton additionnel en vue de procéder à ce chevauchement.

Mise en place des armatures – corrosion de barres existantes

Dans le cas de travaux de réparation d'un élément en béton, un certain nombre de barres d'armature existantes, une fois dégagées, peuvent montrer des signes de corrosion et même de perte de section. Dans ce cas, il est prévu au CCDG que le surveillant peut demander l'ajout de barres d'armature additionnelles s'il juge que la capacité structurale de l'ouvrage est affectée. Généralement, il n'est pas nécessaire de compenser la perte de section lorsqu'un ajout d'armature est déjà prévu comme c'est le cas notamment pour des réparations avec surépaisseur.

Les exemples qui suivent représentent des cas types où il faut ajouter des barres additionnelles pour compenser une perte de section de barres existantes. Si ces exemples ne suffisent pas, le surveillant se doit de consulter le concepteur, surtout dans le cas d'éléments structuraux principaux comme une colonne, un chevêtre ou une poutre, lorsqu'une barre de ces éléments montre une perte de section supérieure à 30 %. De même, lorsqu'une barre 25M ou plus d'un autre élément de pont présente la même perte de section, le surveillant doit également consulter le concepteur.

Lorsqu'une barre 15M ou 20M d'une dalle ou de la face avant d'un mur ou d'une culée montre une perte de section supérieure à 30 % par rapport à l'originale, une barre additionnelle devrait être juxtaposée à la barre existante. La barre ajoutée devrait être du même diamètre que la barre existante. Le surveillant doit se référer au texte sur les jonctions pour les informations relatives au chevauchement de ces barres. Si plusieurs barres ont une perte de section importante, il n'est pas nécessaire d'ajouter une barre additionnelle à chacune de ces barres; il suffit dans ce cas de compenser la perte de

section globale. À titre d'exemple, si trois barres rapprochées 15M présentent chacune une perte de section supérieure à 30 %, une seule barre 15M peut être ajoutée pourvu que la section totale des quatre barres soit au moins équivalente à la section originale des trois barres.

Mise en place des armatures – avis de conformité

Compte tenu de l'importance cruciale qu'a une mise en place adéquate de l'armature afin d'obtenir un ouvrage sécuritaire et durable, l'entrepreneur doit, après la mise en place de l'armature et avant la mise en place des coffrages sur la dernière face principale de certains éléments, remettre au surveillant un avis écrit signé par un ingénieur (relevant de l'entrepreneur) attestant que l'armature est mise en place selon les exigences des plans et devis. Cet avis est requis pour tout élément d'un pont neuf, d'un tablier neuf, d'une dalle neuve, d'un pieu-caisson, d'un mur neuf ou d'un ponceau neuf coulés en place; au CCDG on parle aussi d'élargissement d'une unité de fondation et d'élargissement d'une dalle ou d'un tablier. L'avis n'est pas requis pour des réparations comme des reconstructions de côté extérieur ou des réparations en surépaisseur, dans la mesure où les éléments réparés ne sont pas élargis (l'élargissement causé par l'épaisseur de la réparation n'est pas considéré dans ce cas).

Pour l'exigence concernant la mise en place des coffrages sur la dernière face principale de l'élément, il n'est pas anodin de mentionner que la vérification par l'entrepreneur de la mise en place de l'armature doit se faire avant de fermer les coffrages. En effet, il est alors beaucoup plus facile d'effectuer la vérification et d'éventuelles corrections de mise en place d'armature. Dans ce dernier cas, il sera aussi plus facile d'effectuer la vérification des corrections apportées. Mentionnons que pour un élément de grande dimension, il est possible que plus d'un avis soit remis au surveillant si, par exemple, le coffrage est monté en plusieurs étapes.

L'entrepreneur devrait être autorisé à finaliser la mise en place des coffrages qu'après la remise au surveillant de l'avis écrit de l'entrepreneur confirmant la réalisation adéquate des corrections demandées; de plus, la finalisation des coffrages devrait, dans le cas des colonnes et des chevêtres, être reportée après la vérification par le surveillant de la dimension hors-tout des cages d'armature de ces éléments.

Mentionnons que l'inspection de l'armature doit être faite par l'ingénieur qui signe l'avis attestant la conformité de la mise en place de l'armature. Il ne peut pas déléguer cette activité à une autre personne car le Ministère tient à ce que l'inspection soit faite par un ingénieur compte tenu des graves conséquences structurales qui pourraient découler en cas d'anomalies liées à la pose d'armature.

Ajoutons que dans le cas des pieux-caissons, la vérification se fera avant de descendre la cage d'armature dans le pieu. Comme les armatures ne sont pas alors dans leur position finale avant bétonnage, l'ingénieur peut inscrire un commentaire à cet effet dans son avis.

De façon exceptionnelle et afin d'assurer la meilleure qualité possible des avis remis, il est exigé au CCDG que l'entrepreneur utilise le formulaire du Ministère; ce formulaire apparaît en annexe au devis spécial. Cette façon de faire permet aussi de consigner les dates et heures des vérifications originales et celles concernant les éventuelles corrections apportées par la suite. Le surveillant devrait fournir à l'entrepreneur la version du formulaire F311.1, qui apparaît à la figure 4.3-11 (disponible sur le site Internet du Ministère); car elle est en grandeur réelle.

La remise de cet avis de conformité oblige l'entrepreneur à ne pas se fier qu'au surveillant pour la conduite de ses travaux de ferraillage. L'avis de conformité doit mentionner que la provenance (aciérie), la nuance et le type de protection de l'acier, le diamètre, la longueur, l'emplacement et l'enrobage de chacune des barres ainsi que l'espacement des ligatures fixant les barres sont conformes aux exigences. L'avis doit aussi couvrir la position et le diamètre des tiges d'ancrage, lorsqu'il y en a, comme c'est le cas pour les chasse-roues, glissières et dessus de culée. L'avis couvre donc tous les aspects de la mise en place des armatures et des tiges d'ancrages.

Mentionnons que la remise par l'entrepreneur des avis de conformité (armature et coffrages) ne dispense pas le surveillant de faire ses propres vérifications quant à la mise en place des armatures et des coffrages. Tout écart par rapport aux exigences doit être corrigé avant d'autoriser tout bétonnage. Mentionnons que les avis de conformité sont des documents d'ingénierie importants et que le surveillant se doit de rapporter aux autorités compétentes tout avis qui lui semble sans lien évident avec ce qu'il a lui-même constaté. En effet, c'est à ce prix que les entrepreneurs amélioreront la qualité de leurs travaux et le surveillant ne doit pas hésiter à rapporter tout avis de valeur douteuse.

Transports Québec

Direction générale des structures

MISE EN PLACE DE L'ARMATURE

Avis de l'entrepreneur (CCDG : art. 15.4.3.3)

1. LOCALISATION DE L'OUVRAGE

Dossier n° (contrat) : _____ Route : _____ Obstacle : _____

Plan n° : PO- _____ Municipalité : _____

2. LOCALISATION DE L'ÉLÉMENT (OU DES ÉLÉMENTS)

Croquis de localisation des unités de fondation
(Si travaux réalisés en phases, phase n° _____)

☐ **Semelle:** ☐ Culée _____ ☐ Béquille de portique _____ ☐ Pile _____ ☐ Mur de soutènement ☐ Ponceau

☐ **Culée** _____ **:** ☐ Mur de front ☐ Mur en retour ☐ Pieu-caisson

☐ **Béquille de portique:** ☐ Mur de front ☐ Mur en retour

☐ **Pile** _____ **:** ☐ Fût ☐ Chevêtre

☐ **Dalle** (entre unités de fondation _____ et _____) :
☐ Sur poutres préfabriquées ☐ Dalle et poutres en post-tension ☐ Dalle épaisse (portique) ☐ Dalle épaisse (post-tension)

☐ **Côtés extérieurs** _____ **:** ☐ Glissières ☐ Chasse-roue ☐ Trottoir

☐ **Murs de soutènement** (chaînage : de _____ à _____)

☐ **Ponceau :** ☐ Mur ☐ Dalle ☐ Mur de tête

☐ **Autres :** _____

3. INTERVENANTS

Entrepreneur général : _____ Représentant au chantier : _____ Téléphone : _____

Armature

Aciérie / Usine : _____ / _____

Ferrailleur / Représentant au chantier : _____ / _____

4. BORDEREAU D'ARMATURE

Toutes les barres de l'élément de pont visé par cet avis et apparaissant au bordereau d'armature original ☐ ou modifié en cours de contrat ☐ (feuillet _____ de _____ ou avis n° _____) sont conformes aux exigences du CCDG[1] (nuance, type de protection de l'acier[2], diamètre, longueur, emplacement, enrobage[3]) et les ligatures sont conformes (protection, nombre et enrobage) à l'exception des barres suivantes :

IDENTIF.	NC	COR	REMARQUES
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	
	☐	☐	

1 Dans le cas des armatures en matériaux composites, la conformité est établie avec les exigences du devis
2 Vérifier l'absence de rouille blanche si les barres sont galvanisées NC : non conforme COR : situation corrigée
3 Dans le cas des pieux-caisson, vérifier le diamètre extérieur des étriers VS le diamètre intérieur du chemisage

5. REMARQUES

_____

_____

_____

6. DÉCLARATION

Je déclare, par la présente, qu'une fois le ferraillage terminé, j'ai vérifié la mise en place des armatures apparaissant au bordereau susmentionné, incluant la vérification des corrections s'il y a lieu.

Ingénieur qui a effectué la vérification : _____ (Nom en caractères d'imprimerie) _____ (Signature)

Date de la vérification[4] : ____ / ____ / ____ (AAAA / MM / JJ) Heure de la vérification: Début ____ : ____ (HH : MM) Fin ____ : ____ (HH : MM)

Date de la vérification des corrections s'il y a lieu : ____ / ____ / ____ (AAAA / MM / JJ) Heure de la vérification: Début ____ : ____ (HH : MM) Fin ____ : ____ (HH : MM)

4 Lorsqu'une inspection préalable a lieu avant celle requise pour la vérification, en indiquer la date, l'heure et les items inspectés à la section « REMARQUES »

F311.1 (2019-01)

Figure 4.3-11 Formulaire F311.1 « Mise en place de l'armature »

Mise en place des armatures – informations additionnelles pour les armatures des colonnes et des chevêtres

Puisque les exigences d'enrobage des armatures des colonnes et des chevêtres sont difficiles à respecter, compte tenu probablement des dimensions réduites de ces éléments et, surtout, du fait que le façonnage des barres soit assez souvent mal réalisé (entraînant des dimensions hors-tout d'armature non conformes aux dispositions des plans), le surveillant doit, après avoir reçu l'avis écrit de l'entrepreneur concernant la mise en place de l'armature, vérifier les dimensions hors-tout de l'armature mise en place. Le surveillant doit se référer aux notions de ce chapitre concernant la réception des armatures au chantier pour plus d'information afin d'éviter ce problème en intervenant dès la réception des armatures.

Afin de s'assurer du respect de l'enrobage pour les colonnes et chevêtres, il a été décidé de vérifier les dimensions hors-tout de l'armature pour atteindre ce but. Cette façon de faire peut paraître incomplète puisque l'on ne tient pas compte de l'emplacement des coffrages, or il n'en est rien, car les dimensions hors-tout des coffrages sont dictées par les longueurs des attaches de coffrages et, parfois pour les colonnes, des dimensions des coffrages, déjà livrés au chantier. En faisant la vérification des armatures de cette façon, il est admis que les cales en plastique assurent une répartition égale du recouvrement sur les faces opposées des coffrages une fois ces derniers en place.

À la suite d'une éventuelle demande du surveillant de refaire la mise en place de l'armature d'une partie de pont (comme on le verra un peu plus loin), il apparaît improbable que l'entrepreneur choisisse de commander à nouveau ces attaches ou ces coffrages avec des dimensions un peu plus grandes (respectant ainsi l'enrobage mais pas les dimensions de l'élément, ce qui pour le concepteur est aussi inacceptable). De toute façon, il est clairement indiqué au CCDG que la mise en place de l'armature doit être refaite, d'où l'interdiction implicite d'augmenter les dimensions des éléments en béton.

Précisons qu'il est beaucoup plus simple pour le surveillant de vérifier les dimensions hors-tout de l'armature que de vérifier systématiquement l'enrobage à l'intérieur des coffrages de ces éléments de dimensions réduites ou encore d'utiliser un pachomètre une fois le décoffrage terminé; de plus, toute correction à apporter à la mise en place de l'armature sera beaucoup plus facile à faire puisque la mise en place des coffrages n'est pas finalisée.

L'exigence de vérifier les dimensions hors-tout de l'armature est clairement indiquée au CCDG et il y a peu à ajouter sauf peut-être en ce qui a trait à l'avis que le surveillant doit remettre à l'entrepreneur afin de l'informer de la retenue temporaire le cas échéant. Mentionnons que l'entrepreneur peut décider, suite à la réception de cet avis, de refaire la mise en place de l'armature fautive; dans ce cas, la retenue n'est pas appliquée et dans le cas contraire, la retenue temporaire devient permanente.

Il existe une façon sûre et précise de mesurer les dimensions hors-tout de l'armature; il s'agit d'utiliser un bâton de longueur un peu plus importante que la dimension hors-tout maximale de l'armature et d'y fixer 2 clous distancés de cette dimension. Il suffit ensuite de vérifier si l'armature s'insère ou pas à l'intérieur des 2 clous. Si c'est le cas, la dimension hors-tout de l'armature est correcte; si ce n'est pas le cas, il faut mesurer la longueur dépassant la dimension hors-tout maximale pour évaluer soit la retenue à appliquer soit la reprise du ferraillage. Une des façons de faire consiste à appuyer un des 2 clous sur l'armature et de mesurer au vernier la distance séparant l'autre clou d'avec l'armature attenante; on peut aussi revérifier cette première mesure en utilisant un autre bâton avec 2 clous distancés de cette mesure additionnée de la dimension hors-tout maximale. Il faut éviter d'utiliser un ruban à mesurer, car les mesures doivent être précises au mm près.

Voici un exemple d'application :

- Colonne ronde de 10 m de hauteur (diamètre : 1 000 mm)
- enrobage : 75 mm (moins la tolérance de 12 mm selon norme CAN/CSA A23.1)
- Dimension hors-tout maximale de l'armature pour éviter une retenue :
- 1 000 – (2 x 75) + (2 x 12) = 874 mm
- Dimension hors-tout maximale de l'armature pour éviter la reprise du ferraillage :
- 1 000 – 100 = 900 mm
- Mesures des dimensions hors-tout de l'armature à chaque mètre de hauteur de la colonne :

Hauteur (m)	**Mesure 1**		**Mesure 2**	
	(mm)	Retenue ($) ou reprise du ferraillage	(mm)	Retenue ($) ou reprise du ferraillage
0,5	907	Reprise ferraillage	870	N/A
1,5	890	800 $	875	50 $
2,5	885	550 $	880	300 $
3,5	878	200 $	878	200 $
4,5	874	N/A	873	N/A
5,5	870	N/A	872	N/A
6,5	877	150 $	876	100 $
7,5	873	N/A	875	50 $
8,5	882	400 $	877	150 $
9,5	875	50 $	872	N/A

- Conclusions :

- Retenue temporaire totale : 3 000 $
- Reprise du ferraillage à faire au bas de la colonne (sur 1 m de hauteur)

4.3.4 Ancrages

Les ancrages sont généralement fabriqués à partir de barres d'armature et ils sont fixés au béton à conserver. Ils sont généralement utilisés dans le cadre de travaux d'entretien, par exemple pour consolider un bloc d'assise ou pour ancrer une surépaisseur de béton; dans ce dernier cas, les ancrages sont utilisés lorsque l'entrepreneur ne désire pas ancrer la surépaisseur de béton au moyen des tirants employés pour retenir les coffrages. Le surveillant peut se référer à la section 4.3.1.3 « Accessoires de coffrages », section travaux d'entretien, pour plus de détails.

Les ancrages peuvent aussi être employés pour réaliser une continuité de l'armature lors de l'élargissement d'un élément existant ou lorsque l'armature est endommagée au droit du béton démoli. Ils peuvent également être utilisés lors de la reconstruction d'un mur garde-grève lorsque celui-ci est déplacé vers le remblai d'approche dans le but d'augmenter l'espace libre à l'extrémité du tablier.

Il est précisé au CCDG les dimensions des trous à forer selon le produit d'ancrage utilisé par l'entrepreneur et les caractéristiques de l'ancrage lui-même. Ces informations sont inscrites dans le CCDG et dans le devis plutôt que sur les plans, parce qu'elles peuvent être utiles lorsque des ancrages non prévus deviennent nécessaires au cours des travaux. La figure 4.3-12 illustre les exigences du CCDG pour les ancrages des réparations avec coffrages et sur épaisseur.

Lorsqu'aucune exigence précise n'est donnée au CCDG à cet effet, l'entrepreneur choisit son produit d'ancrage en fonction de divers facteurs, mais l'aspect financier est sans aucun doute le facteur déterminant. Compte tenu des coûts similaires associés aux deux produits d'ancrage, ces derniers sont utilisés aussi fréquemment l'un que l'autre. En effet, bien que les dimensions des trous soient plus importantes lorsqu'un coulis cimentaire est employé, ce dernier est moins cher que le produit à base de résines d'époxy. En cas d'utilisation d'un produit d'ancrage chimique, les dimensions des trous sont plus faibles parce que l'adhérence au béton est plus grande.

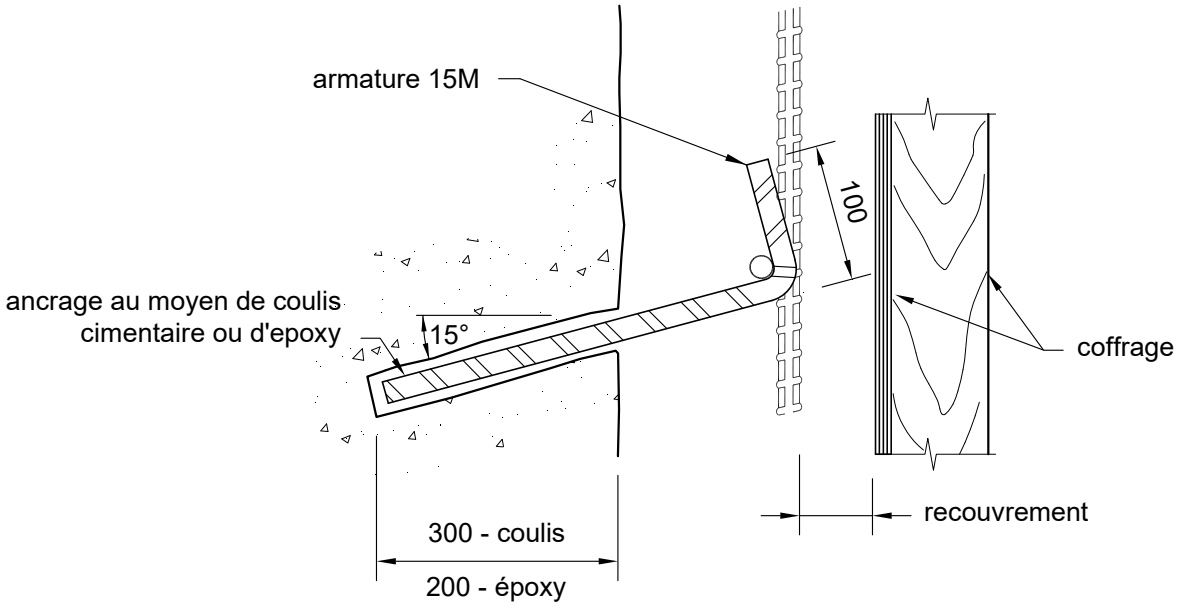


Figure 4.3-12 Ancrage pour réparation avec coffrages et surépaisseur

Les plans peuvent cependant prévoir des ancrages différents de ceux du CCDG. Dans ces cas, il est possible qu'un diamètre de barre spécifique soit exigé, accompagné d'un enfoncement et d'un type précis de produit d'ancrage (coulis cimentaire ou résine chimique). Les plans et devis peuvent même, à certaines occasions, préciser l'emploi d'une résine commerciale spécifique, accompagnée de la mention « ou un équivalent approuvé ». Dans cette situation, lorsque l'entrepreneur soumet la fiche technique d'un produit différent en équivalence, le surveillant doit référer au concepteur afin de valider cette équivalence, et au besoin, ajuster les caractéristiques du forage.

L'utilisation d'une foreuse au diamant est interdite pour forer les trous afin d'éviter des parois lisses, ce qui diminuerait de façon considérable la capacité des ancrages. L'emploi d'une foreuse à percussion est préférable. Par contre, il peut arriver qu'une foreuse au diamant soit nécessaire, comme dans le cas d'armature à couper ou d'un forage de grande profondeur; le surveillant doit alors évaluer la situation et consulter le concepteur avant d'autoriser l'entrepreneur à procéder ainsi. Si la foreuse au diamant est utilisée, il faut aussi vérifier la compatibilité de la résine employée avec ce type de forage.

Dans le cas des ancrages installés sur une paroi verticale, les trous doivent être forés selon un angle de 15° par rapport à l'horizontale afin de maintenir le produit d'ancrage à l'intérieur du trou jusqu'à ce qu'il fasse sa prise. En effet, cette pratique permet d'éviter la formation de vides au pourtour des ancrages. Les ancrages installés au plafond doivent quant à eux être obligatoirement à la résine chimique.

4.3.4.1 Ancrages au moyen de coulis cimentaire

Le coulis cimentaire utilisé doit être conforme à la norme 3901 du Ministère. Les coulis qui respectent les exigences de la norme de même que les produits d'ancrage chimique à utiliser apparaissent à la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par la DGLC », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

Le surveillant se doit d'obtenir de l'entrepreneur la fiche technique du produit qu'il désire employer afin de s'assurer que les recommandations du fournisseur sont respectées lors de la mise en œuvre.

L'entrepreneur peut utiliser des cartouches cimentaires fabriquées par AMBEX, en remplacement du coulis cimentaire, dans la mesure où cela est effectué selon les exigences du devis spécial, notamment en ce qui concerne l'accord du surveillant et la profondeur des trous (qui peut être réduite jusqu'à 200 mm si des essais sur ancrages témoins réalisés sur l'ouvrage démontrent que la capacité des ancrages respecte les exigences).

Le nettoyage des trous doit s'effectuer au moyen d'un brossage et d'un jet d'eau sous pression. Cette étape de nettoyage est essentielle en vue d'assurer une résistance adéquate des ancrages. Le brossage doit s'effectuer avec une brosse conçue à cette fin, la plupart du temps une brosse métallique de forme cylindrique. Lors du nettoyage avec le jet d'eau, ce dernier doit être descendu complètement jusqu'au fond du trou de manière à nettoyer et déloger toute la poussière et les résidus de forage.

Avant de mettre en place le coulis, le surveillant doit s'assurer que le surplus d'eau a été évacué du trou et que les parois de ce dernier sont sèches ou humides. Une paroi mouillée doit être évitée. La présence d'eau dans les trous doit particulièrement être vérifiée si un délai important sépare le forage de l'insertion des ancrages, puisque de l'eau de pluie a pu s'écouler à l'intérieur des trous.

De même, la température du béton et de l'air ambiant doit être vérifiée et celle-ci doit être supérieure à 5°C selon les exigences du CCDG ou à une température plus élevée si les recommandations du manufacturier du coulis sont plus sévères. Les prévisions météorologiques doivent également indiquer des températures supérieures à 5°C pour les 48 heures suivant la pose, de façon à éviter le gel du coulis.

4.3.4.2 Ancrages au moyen de résine chimique

Les résines chimiques sont composées de résines à base d'époxy, de méthacrylate ou d'acrylique. Le choix du produit d'ancrage est généralement laissé à la discrétion de l'entrepreneur, sauf s'il est fixé sur les plans et devis. Mentionnons cependant que la résine époxy est à privilégier pour les ancrages plus profonds, car le temps de prise est plus long et permet de faire l'injection et l'enfoncement de la tige avant la polymérisation.

Le CCDG exige que l'entrepreneur fournisse la fiche technique de la résine employée au moins sept jours avant les travaux. Cette exigence vise principalement à permettre au surveillant de constater quelles sont les mesures à prendre pour le nettoyage et la préparation des trous à la suite du forage. Cette étape de nettoyage est essentielle en vue d'assurer une performance adéquate des ancrages à la résine chimique.

La plupart des fabricants de résine et d'ancrages exigent un nettoyage en trois étapes : au moins deux nettoyages au jet d'air en allant jusqu'au fond du trou, suivis de deux brossages à la brosse métallique, pour terminer avec deux autres nettoyages au jet d'air. Le surveillant doit être vigilant en la matière, car l'entrepreneur a souvent tendance à omettre le brossage, réduisant ainsi l'efficacité du jet d'air comprimé. Ce dernier doit être exempt d'huile afin qu'il ne contribue pas lui-même à réduire la qualité du lien.

Il existe également depuis quelques années des systèmes de résines qui ne nécessitent pas un tel traitement et qui utilisent des mèches de forage creuses munies d'un aspirateur. Uniquement dans ces cas, lorsque la fiche technique de la résine en fait expressément mention, le nettoyage par brossage n'est pas effectué.

Dans le cas des ancrages réalisés au plafond ou lorsque les trous ont plus de 300 mm de profondeur, le CCDG exige l'utilisation de pistons d'injection. Ces pistons sont fournis par les fabricants de résine et doivent être utilisés pour un diamètre de forage spécifique. Le piston est fixé à l'extrémité du tube d'injection et est enfoncé au fond du trou. Le piston permet de maintenir centré dans le trou de forage le tube d'injection et, avec la pression d'injection, il remonte vers la surface en « flottant » sur la résine. L'utilisation des pistons dans ces conditions est essentielle, car ils permettent de remplir adéquatement le trou de résine, sans créer de vides. L'injection de trous profonds ou au plafond sans utiliser le piston d'injection conduit souvent à des vides d'injection dans la partie au fond du trou et ces vides ne sont à peu près pas détectables lors de la mise en œuvre, car la partie supérieure du trou est généralement bien remplie. La partie du fond du trou est toutefois celle qui est la plus importante structuralement pour l'ancrage, car le développement de la tige s'y fait et son efficacité permet de mobiliser davantage de béton en arrachement.

De façon usuelle, les trous doivent être remplis de résine jusqu'au deux tiers de leur profondeur. Les ancrages sont par la suite enfoncés dans le produit d'ancrage en tournant l'ancrage pour s'assurer d'un bon enrobage tout autour de ce dernier. Les indications de la fiche technique du fournisseur du produit d'ancrage doivent également être suivies.

Pour vérifier si la quantité de produit d'ancrage utilisée est suffisante, un ourlet de produit devrait être visible au pourtour de l'ancrage, une fois ce dernier enfoncé dans le trou. Comme il a été mentionné précédemment, cette vérification est surtout valide pour les ancrages de profondeur usuelle; pour les ancrages profonds, cette vérification n'est pas gage d'un bon remplissage sur toute la longueur.

Une fois écoulée la période d'attente minimale indiquée sur la fiche technique du produit utilisé, le surveillant devrait vérifier sommairement chacun des ancrages à la main. Cette vérification consiste à essayer de déplacer latéralement les ancrages tout en prenant soin d'éviter de ne pas les faire tourner afin de ne pas briser le lien entre le produit d'ancrage et le béton. Tous les ancrages qui peuvent être déplacés ainsi à la main doivent être rejetés.

Lorsque le nombre d'ancrages est élevé, il se peut également que le concepteur ait spécifié uniquement leur capacité structurale. Dans ce cas précis, l'entrepreneur peut choisir le système d'ancrage qu'il désire pourvu qu'il fasse la preuve que celui-ci a la capacité structurale demandée. Pour ce faire, des essais à la rupture sont effectués sur quelques ancrages témoins selon les exigences du devis. Ces essais doivent être réalisés dans un béton qui est représentatif du béton de l'ouvrage où seront placés les ancrages exigés aux plans. Afin d'éviter d'endommager des surfaces de béton à conserver pour réaliser ces essais, l'entrepreneur peut choisir une zone qui sera réparée ultérieurement (par exemple, le dessus de l'assise lorsque ces réparations sont prévues) ou effectuer les essais dans un élément de béton à démolir complètement (par exemple, le dessus du mur garde-grève, si celui-ci est à remplacer).

Terminons en précisant que généralement ces dernières exigences ne s'appliquent pas aux ancrages utilisés lors de travaux usuels de réparation avec coffrages.

4.3.5 Béton

Fiches descriptives des mélanges

L'entrepreneur doit remettre au surveillant les fiches descriptives des mélanges qu'il se propose d'utiliser au moins sept jours avant de procéder au bétonnage. Dans le cas des bétons nécessitant un essai de convenance, ces fiches et les résultats des essais de résistance à la compression doivent être remis au moins 14 jours avant l'essai de convenance. Le surveillant transmet ces documents pour analyse au laboratoire mandaté par le Ministère; ce laboratoire doit s'assurer que les documents respectent les normes du Ministère.

Le surveillant doit tout de même vérifier que les types de béton apparaissant sur les fiches descriptives correspondent bien à ceux exigés sur le plan d'ensemble; s'il n'y a pas de plan d'ensemble pour un projet d'entretien, les types de béton sont spécifiés dans le devis spécial ou dans le CCDG.

Lorsque l'entrepreneur désire utiliser un superplastifiant à base de polycarboxylate, il doit respecter les exigences du devis spécial en ce qui a trait au temps de prise puisque ce type de superplastifiant a tendance à le réduire de façon significative. Mentionnons que ces superplastifiants sont efficaces pour obtenir un réseau d'air plus stable; en revanche, des effets secondaires indésirables liés à la réduction du temps de prise ont été constatés. Cette réduction entraîne plusieurs problèmes, notamment la finition plus difficile du béton et la présence possible de joints froids ou de nids d'abeille. Ces

problèmes sont souvent causés par le peu de marge de manœuvre que laissent les superplastifiants à base de polycarboxylate en cas de bris d'équipement ou de refus de quelques chargements de béton frais d'affilée. Ces défauts de bétonnage ne sont pas toujours faciles à corriger et sont d'un esthétisme douteux même après correction; mais il y a pire, ces défauts peuvent conduire à une évaluation longue et coûteuse de leur impact sur la capacité de l'ouvrage, pouvant conduire à la limite à la reconstruction de l'ouvrage.

La durée du temps de prise mentionnée au devis spécial, pour contrer l'effet de réduction de temps prise associé à l'utilisation du superplastifiant à base de polycarboxylate, ne doit pas être interprétée par l'entrepreneur comme une autorisation d'office du surveillant à dépasser le délai de 120 minutes entre le malaxage et le déchargement du béton; si tel était le cas, le temps de prise minimal demandé au devis spécial n'aiderait en rien à éliminer les problèmes (joints froids, nids d'abeille…) mentionnés au paragraphe précédent. Si l'entrepreneur désire, en plus d'utiliser du superplastifiant à base de polycarboxylate, excéder le délai de 120 minutes cité plus haut, par exemple pour des longues distances de transport, il pourrait devoir augmenter encore plus le temps de prise mentionné au devis spécial.

Le délai minimal de sept jours entre la réception des documents et le bétonnage laisse le temps aux intervenants de les analyser adéquatement. Bien que le surveillant n'accepte officiellement les fiches que lors de l'autorisation à procéder au bétonnage, il est de bonne pratique d'informer l'entrepreneur le plus tôt possible de leur conformité ou non.

Béton à prise rapide

Le devis spécial précise les caractéristiques du béton à prise rapide employé à l'occasion pour des réparations de dalle ou pour le remplacement de joints de tablier. Le but recherché par l'emploi du béton à prise rapide est évidemment la réouverture rapide du pont au trafic routier. Ce type de béton est fabriqué à partir d'un ciment dont la composition chimique fait en sorte que la prise est fortement accélérée, de même que le développement des résistances.

Comme la prise s'effectue très rapidement, à l'intérieur d'un délai de quelques minutes lorsque le béton est mis en place par temps chaud, ce type de béton doit être fabriqué à partir d'une bétonnière mobile; l'utilisation d'un camion-malaxeur ou d'une pompe n'est donc pas possible. Il est aussi très important que tous les ouvriers et les équipements nécessaires à la mise en place, à la finition et surtout à la cure du béton soient prêts avant de commencer la production du béton.

Lorsque la réparation est faite sur l'ensemble de la surface de la dalle au moyen d'une chape, le devis spécial spécifie l'utilisation, sur les surfaces de contact, d'un coulis d'adhésion qui est aussi appelé « barbotine ». Il est essentiel, dans ces cas, que le coulis soit appliqué immédiatement avant la mise en place du béton, afin d'éviter son séchage. Le coulis séché peut en effet détruire le lien entre le béton de réparation et le

substrat, causant ainsi un décollement à court terme de la réparation. Si le surveillant constate une application trop hâtive du coulis lors du bétonnage d'une chape, il est préférable de nettoyer immédiatement au jet d'eau sous pression le coulis séché avant de poursuivre l'application du béton.

La cure s'effectue de la même manière que pour les dalles de tablier, c'est à dire avec une humidification préalable suivie de la mise en place de toiles absorbantes imbibées d'eau. Il faut par contre être particulièrement vigilant et faire débuter l'humidification ou la cure proprement dite immédiatement à la suite des opérations de finition du béton. Tout délai avant la fourniture d'eau, ne serait-ce que de quelques minutes, peut rapidement entraîner une fissuration polygonale en surface de la réparation. Cette fissuration, qui est due au retrait plastique, n'est pas réparable et conduit à une très mauvaise durabilité de la réparation.

La cure humide s'effectue sur une période de 4 heures, car à la suite de ce délai, le béton a atteint une maturité suffisante pour résister aux charges tout en montrant une durabilité acceptable. C'est aussi pour cette raison qu'une membrane d'étanchéité peut être posée après un délai de 4 heures suivant la fin de la cure. En effet, ce délai est suffisant pour permettre au béton de s'assécher suffisamment en surface, ce qui permet à la membrane d'y adhérer.

Bien que la cure soit de 4 heures seulement, il faut s'assurer que la température du béton à prise rapide soit au-dessus de 10 °C pendant une période minimale de 3 jours suivant le bétonnage. Cette exigence du devis spécial permet au béton de développer ses caractéristiques de durabilité avant d'être soumis à des températures trop froides. À noter que même si les résistances se développent plus rapidement et que la période de protection est plus courte, les exigences de maintien des températures des surfaces de contact avant la coulée s'appliquent. En effet, il y a toujours la possibilité pour le béton de geler au contact d'un substrat qui serait sous le point de congélation. Ceci résulterait en un très mauvais lien entre le substrat et le béton, ce qui risquerait de causer un décollement par plaques du béton. Mentionnons aussi, comme pour les autres bétons, que la date limite imposée au CCDG pour des réparations avec coffrages sans surépaisseur s'applique.

4.3.5.1 Préparation des surfaces à conserver

Cet article du CCDG s'applique que pour les surfaces ayant été démolies; il ne s'applique donc pas aux joints de construction entre deux bétonnages (voir la section 4.3.5.3 « Joints de constructions » de ce chapitre).

La préparation des surfaces à conserver consiste à obtenir des surfaces de contact propres et saines afin d'assurer un bon lien entre deux bétons, ou entre les armatures et béton ou encore entre une pièce métallique et le béton.

Les barres d'armature existantes qui ont été dégagées lors de la démolition d'un élément doivent être nettoyées de façon à enlever toute rouille. Il convient ici de

préciser qu'à la suite de ce nettoyage, seule une mince couche de rouille adhérente peut être tolérée comme c'est le cas pour les armatures neuves. Si les barres d'armature existantes dégagées ont un revêtement d'époxy, elles doivent être nettoyées de manière à enlever tout revêtement n'adhérant pas fermement à la surface des barres.

Le béton exposé à la suite de la démolition d'un élément doit être nettoyé de manière à enlever toutes les particules de béton n'adhérant pas à la surface.

Le nettoyage est effectué au moyen d'un jet d'eau haute pression ou par projection d'abrasif humide. L'utilisation du jet d'abrasif sec est proscrite depuis le renforcement des exigences de santé et sécurité relatives à la silice cristalline libérée dans l'air; les résultats attendus sont, par contre, demeurés les mêmes. Ce nettoyage n'a pas à être effectué dans le cas d'une démolition réalisée au moyen d'un équipement d'hydrodémolition, car cette méthode laisse une surface libre de toute particule non adhérente.

Une fois les armatures apparentes et le béton exposé nettoyés, il faut ensuite débarrasser ces surfaces de tout débris au moyen d'un jet d'eau sous pression. Cette opération doit toujours être effectuée même si l'hydrodémolition est employée. En effet, les surfaces environnant la zone de préparation ou de démolition des surfaces si un équipement d'hydrodémolition est utilisé, sont salies par la projection de grains de liant non hydratés ainsi que des poussières et du sable lors des opérations. Bien que ce que l'on pourrait appeler « second nettoyage » puisse à première vue sembler superflu, il est en réalité très important, puisque ces résidus nuisent à la qualité du lien entre le nouveau béton et le substrat.

Il convient ici de différencier deux termes utilisés dans le CCDG : jet d'eau sous pression et jet d'eau haute pression. Les caractéristiques du jet d'eau sous pression étant définies dans le CCDG, les résultats attendus sont peu explicites. Il s'agit en fait d'enlever ce qui peut l'être à l'aide de ce type d'équipement. À l'inverse, les caractéristiques du jet d'eau haute pression ne sont pas définies dans le CCDG; par contre, les résultats attendus sont très explicites. Il s'agit en fait d'utiliser un équipement de puissance suffisante pour obtenir les résultats attendus. Il est possible, quoique peu fréquent, que le jet d'eau défini comme un jet d'eau sous pression soit en mesure de produire ces résultats sur un ouvrage donné.

Avant tout bétonnage, les surfaces de béton exposées à la suite de la démolition partielle d'un élément doivent être humidifiées jusqu'à saturation, mais être sèches en surface au moment de la mise en place du nouveau béton. Ces exigences sont connues sous le vocable « saturée surface sèche ».

L'exigence relative à la saturation des surfaces s'impose afin d'éviter que le béton existant n'absorbe l'eau du béton plastique, ce qui aurait pour effet de diminuer le rapport eau/liant et, en conséquence, la qualité du lien entre les deux bétons. L'exigence relative à la surface sèche au moment de la mise en place du béton vise à

éviter que le nouveau béton soit mis en place sur une surface mouillée, ce qui aurait pour effet d'augmenter le rapport eau/liant et, encore une fois, d'affecter la qualité du lien entre les deux bétons. En pratique, lorsque la surface de béton existante est recouverte d'un coffrage, le lavage à grande eau de la surface à l'intérieur du coffrage une douzaine d'heures avant le bétonnage devrait donner de bons résultats. Par contre, si la surface de béton existante est à l'air libre, un lavage quelques heures avant la coulée suffit généralement. Puisque ces délais peuvent varier énormément selon les conditions climatiques en vigueur, le surveillant doit demeurer vigilant pour obtenir l'humidification optimale des surfaces. Il est par contre essentiel que la surface de béton existant lors de la coulée soit sèche en surface, tout au plus légèrement humide.

4.3.5.2 Autorisation de bétonnage

Il est exigé au CCDG que l'entrepreneur donne au surveillant un avis écrit de 24 heures avant le bétonnage de tout élément. Cet avis doit préciser la date et l'heure du début du bétonnage, la cadence de bétonnage prévue, la séquence et le mode de mise en place qu'il se propose de suivre ainsi que l'élément de pont à bétonner. De plus, l'avis doit indiquer que les coffrages et les armatures ont été mis en place selon les exigences; il doit être accompagné, lorsque requis, des avis de conformité relatifs à la mise en place des armatures et des coffrages.

L'avis de bétonnage est demandé dans le but de permettre au surveillant d'avertir, dans des délais raisonnables, les intervenants concernés par cette mise en place, notamment le laboratoire, et lui permettre aussi de procéder aux dernières vérifications avant d'autoriser le bétonnage. Dans le cas où l'entrepreneur avise le surveillant dans un délai plus court, celui-ci doit alors évaluer si les intervenants peuvent être sur place pour le bétonnage et si les vérifications peuvent être faites à temps; si cela est possible, le surveillant ne devrait pas interdire le bétonnage sur la base d'un avis remis trop tard.

Les vérifications à faire par le surveillant, telles qu'elles sont indiquées dans le CCDG à l'intérieur de l'avis de bétonnage, sont :

- les fiches descriptives des mélanges des bétons utilisés sont jugées conformes;
- la mise en place de l'armature et des coffrages de l'élément à bétonner est terminée; il est en effet impossible de juger de la conformité de travaux pas encore réalisés;
- les dimensions, les élévations et les alignements des coffrages sont conformes;
- le nettoyage des coffrages est conforme;
- le diamètre et l'emplacement des armatures sont conformes;
- l'enrobage de béton au-dessus des armatures est conforme en tout point des coffrages. Une dernière vérification est nécessaire même si la mesure de l'enrobage de béton au-dessus des armatures a été faite au fur et à mesure du ferraillage, car il est toujours possible qu'une cale soit déplacée ou endommagée lors des opérations qui suivent le ferraillage;

- la préparation des surfaces à conserver est conforme;
- les équipements et les matériaux nécessaires à la mise en place, à la cure et à la protection du béton par temps froid sont sur les lieux. Une attention spéciale doit être portée au nombre de vibrateurs requis ainsi qu'aux tiges de support en mousse de polyéthylène utilisées en cas de joints de construction non prévus lors du bétonnage d'une dalle.

Pour ce qui concerne la séquence et le mode de mise en place du béton, le surveillant doit faire les vérifications d'usage, notamment :

- le bétonnage des blocs d'assise n'est autorisé qu'une fois le béton de l'unité de fondation durci;
- le bétonnage des chasse-roues, des trottoirs, des glissières et des pistes cyclables n'est autorisé qu'une fois le béton de la dalle durci et, le cas échéant, qu'après l'exécution de la précontrainte;
- les étapes de bétonnage d'une dalle. Celles-ci sont prévues sur les plans, mais l'entrepreneur peut proposer une nouvelle séquence de bétonnage. Le surveillant doit se référer à la section « Préparatifs avant bétonnage – séquence de bétonnage » de la section 4.3.5.6 de ce chapitre;
- les étapes de bétonnage au droit d'un joint de construction vertical. En effet, comme cela est demandé au CCDG, le béton d'un côté d'un joint de construction vertical doit être durci avant de procéder à la mise en place du béton de l'autre côté. Cette exigence est nécessaire afin d'avoir des joints parfaitement verticaux;
- la circulation des équipements de chantier sur les éléments récemment bétonnés. Le CCDG exige de ne pas circuler sur le béton tant qu'il n'a pas atteint 70 % de sa résistance exigée à 28 jours (voir la section 4.3.5.9 sur la cure). Le bétonnage des chasse-roues ou des glissières ne peut donc pas être autorisé tant que le béton de la dalle n'a pas atteint cette résistance. Par contre, précisons qu'il est de pratique courante de travailler sur les coffrages et les armatures des chasse-roues et glissières pendant la cure de la dalle si les résultats d'essais en compression sur cylindre témoins démontrent que la dalle a atteint une résistance d'au moins 70 % de f'c à 28 jours et que toutes les surfaces de dalle demeurent humidifiées.
- La circulation routière à proximité des éléments en cours de bétonnage ou récemment bétonnés, comme dans le cas de la reconstruction d'une dalle réalisée en phases. Il est en effet dommageable pour le béton qui fait sa prise d'être soumis à des vibrations. Les mesures d'atténuation prévues dans le devis spécial à cet effet doivent être respectées;

- les informations relatives à la pompe utilisée pour la mise en place du béton; ces informations sont nécessaires afin que le surveillant soit informé de la localisation de la pompe et de la ligne de pompage. L'entrepreneur est tenu de fournir par écrit les informations relatives à la pompe à béton 14 jours avant le bétonnage. Pour la plupart des bétons, cette information aura déjà été soumise pour l'essai de convenance. La pompe utilisée doit être conforme aux conditions établies lors de l'essai de convenance;
- la démolition d'éléments continus en béton, le battage ou vibrofonçage de pieux ou le compactage de matériaux n'est pas prévu à moins de 30 m de la zone de bétonnage (voir la section 4.3.5.9 « Cure des éléments en béton coulés en place » pour plus de détails).

Conjointement à la remise des documents cités précédemment, il peut s'avérer fort bénéfique pour les travaux qu'une liste commune soit dressée par l'entrepreneur et le surveillant, quelques jours avant la date prévue du bétonnage, des travaux à terminer et des inspections à réaliser. Cette façon de faire permet d'éviter l'improvisation et surtout d'éventuelles pressions de la part de l'entrepreneur pour amener le surveillant à réduire ses vérifications afin de procéder au plus vite au bétonnage.

Le surveillant doit aussi faire beaucoup d'autres vérifications même si celles-ci ne sont pas ciblées expressément dans le CCDG à l'intérieur de l'avis de bétonnage. Ces vérifications font suite aux exigences apparaissant à une place ou à une autre de l'article 15.4.3 « Mise en œuvre » du CCDG ou dans le devis spécial. Un rappel de certaines d'entre elles est fait ci-après :

- l'avis signé par un ingénieur attestant que l'étaiement et les coffrages, le cas échéant, répondent en tous points aux plans soumis et sont remis au surveillant (y compris pour les étaiements supportant latéralement les coffrages);
- La cadence de bétonnage prévue sur la fiche respecte la cadence minimale prévue au CCDG dans le cas des dalles et des portiques sans joints de construction entre les béquilles et la dalle (20 m^3/h);
- le plan du dispositif d'éclairage pour les travaux en soirée ou de nuit est remis au surveillant. Ce plan devrait être également exigé pour un bétonnage effectué de jour, mais qui risque de se prolonger en soirée, soit pour les opérations de bétonnage, soit pour les opérations de finition et de cure du béton. Mentionnons que le meilleur système d'éclairage est celui constitué de tours d'éclairage mobiles qui éclairent de grandes superficies;
- la période de bétonnage ne contrevient pas aux restrictions qui pourraient apparaître à l'article « Béton » du devis spécial. Ces restrictions ont pour but de limiter les inconvénients aux usagers;

- le technicien de l'entrepreneur chargé d'ajuster les caractéristiques du béton plastique au chantier détient la certification ACI comme cela est exigé au CCDG. Cette exigence, qui concerne les ponts neufs et les réparations d'envergure, est nécessaire pour avoir du personnel qualifié sur le chantier. Le surveillant doit vérifier la certification du technicien en demandant une photocopie du certificat émis par l'ACI;
- le chauffage pendant 24 heures des surfaces de contact préalable au bétonnage sous abri est conforme;
- les coffrages ont été resserrés avant de déposer le nouveau béton lorsqu'un joint de construction a été réalisé;
- les ouvertures temporaires dans les coffrages ont été effectuées pour respecter la hauteur de chute maximale et le déplacement latéral maximal du béton;
- pour une dalle :
  - le passage à vide préalable au bétonnage d'une dalle est conforme;
  - la température ambiante est conforme, lors de la période de bétonnage et dans les 48 heures suivant la mise en place du béton, lorsqu'une protection de type 3 ou 4 est utilisée;
  - le bétonnage est prévu de nuit lorsque requis.

Le surveillant peut également consulter l'annexe 16 du « Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport » qui propose un aide-mémoire pour l'inspection avant le bétonnage. Cet aide-mémoire est reproduit ci-dessous.

Inspection avant le bétonnage – Ouvrages d'art

(aide-mémoire)

Note : c- conforme; nc – non conforme; s.o. – sans objet

Éléments inspectés	Surveillant			Remarques
	c	nc	s.o.	
Armature :				
• type (nuance, diamètre, galvanisation)	☐	☐	☐	
• nombre	☐	☐	☐	
• localisation (position par rapport aux plans, espacement)	☐	☐	☐	
• verticalité et horizontalité des barres	☐	☐	☐	
• dimensions hors-tout (colonnes et chevêtres)	☐	☐	☐	
• enrobage (surfaces coffrées, sol, surfaces finies)	☐	☐	☐	
• propreté	☐	☐	☐	
• jonctions (longueur des chevauchements, position)	☐	☐	☐	
• ligatures (espacement, galvanisation, recouvrement)	☐	☐	☐	
• cales d'espacement (type, distance c/c)	☐	☐	☐	
Autres éléments :				
• jonctions mécaniques (type, localisation)	☐	☐	☐	
• drains (type, localisation, pente)	☐	☐	☐	
• manchons (type, localisation)	☐	☐	☐	
• tiges d'ancrage des appuis et glissières (élévation, positionnement, espacement)	☐	☐	☐	
Coffrage :				
• rigidité et état du matériau	☐	☐	☐	
• élévation	☐	☐	☐	
• alignement	☐	☐	☐	
• dimension	☐	☐	☐	
• étanchéité	☐	☐	☐	
• serrage entre les panneaux (solidité)	☐	☐	☐	
• ouvertures temporaires (emplacement vertical et horizontal)	☐	☐	☐	
• propreté des surfaces	☐	☐	☐	
• propreté du fond	☐	☐	☐	
• attaches de coffrage (solidité, localisation, espacement)	☐	☐	☐	
• doublure de coffrage (propreté, tendue ou collée aux coffrages)	☐	☐	☐	
Equipement et matériaux (type, nombre, disponibilité) :				
• vibrateurs (y compris vibrateur de rechange)	☐	☐	☐	
• tiges de support en mousse de polyéthylène	☐	☐	☐	
• équipements et matériaux pour la cure	☐	☐	☐	
• matériel pour protection par temps froid	☐	☐	☐	
• pompe (type, hauteur du mat, pompe de rechange)	☐	☐	☐	
• équipement d'éclairage	☐	☐	☐	
• ajustement des rails selon le profil calculé (dalles)	☐	☐	☐	
Ouvrage existant à conserver :				
• protection des surfaces attenantes	☐	☐	☐	
• préparation des surfaces (fini, propreté, humidification)	☐	☐	☐	
• fixation des barres existantes	☐	☐	☐	
• ancrages (espacement, dimensions)	☐	☐	☐	
• distance entre les barres et le béton à conserver	☐	☐	☐	
• propreté des armatures apparentes	☐	☐	☐	
Documents fournis par l'entrepreneur :				
• fiches descriptives des mélanges	☐	☐	☐	
• avis de conformité du coffrage	☐	☐	☐	
• avis attestant la conformité de l'étalement	☐	☐	☐	
• avis attestant la conformité de mise en place d'armature	☐	☐	☐	
• note de calcul des coffrages en porte-à-faux (dalles)	☐	☐	☐	
• avis de bétonnage (y compris séquence et mode de mise en place)	☐	☐	☐	
• certification du technicien ACI pour la vérification préalable	☐	☐	☐	

Figure 4.3-13 Aide-mémoire avant bétonnage

Il ne faut pas non plus oublier de s'assurer de la mise en place adéquate des équipements de pont, tels que les drains, les joints de tabliers, les ancrages des poteaux en acier des glissières. Il faut également s'assurer de la mise en place adéquate des conduits d'utilité publique et de tout autre élément à noyer dans le béton. Ces accessoires doivent être localisés aux endroits prévus sur les plans et solidement fixés.

Dans le cas d'un bétonnage important, un ferrailleur devrait être présent ou disponible si un ajustement de dernière minute de l'armature devenait nécessaire. De même, un entrepreneur prudent s'assure toujours d'avoir une pompe à béton de rechange disponible en cas de bris; sans qu'elle soit au chantier en attente, cette pompe pourra être mobilisée au chantier relativement rapidement en cas de bris. Il faut toutefois mentionner que le CCDG n'exige pas formellement de mobiliser une pompe de rechange.

Afin d'éviter que le nombre d'ouvriers chargés de la mise en place du béton ne corresponde pas à l'ampleur des travaux à réaliser, il faut s'assurer à l'avance que le nombre d'ouvriers est suffisant, compte tenu de l'élément de pont à bétonner et du taux prévu de mise en place du béton. Le rythme des livraisons de béton au chantier doit toujours être ajusté au rythme de mise en place que les ouvriers peuvent soutenir. Un rythme de livraison trop élevé augmente le temps d'attente des camions au chantier, ce qui conduit à une diminution de la qualité du béton. Par contre, un rythme de livraison trop faible augmente les arrêts dans les opérations de mise en place du béton, ce qui peut conduire à la formation de joints de construction non désirés. Les cadences minimales prévues au CCDG, dans le cas de certains éléments, visent à éviter autant que possible ces problèmes.

Une fois l'ensemble des vérifications effectué par le surveillant, et les corrections apportées à sa satisfaction le cas échéant, celui-ci remet à l'entrepreneur un avis écrit l'autorisant à procéder au bétonnage demandé dans l'avis de bétonnage.

Il faut toujours garder à l'esprit que l'autorisation à procéder au bétonnage est le seul moyen pour le surveillant de s'assurer de la qualité des coffrages, des armatures et de tous les autres préparatifs requis. Un entrepreneur peut difficilement se plaindre du fait qu'un surveillant lui cause préjudice en exigeant que les conditions du CCDG soient respectées; par contre, de graves préjudices peuvent être imputés à l'ouvrage si l'autorisation de bétonner est donnée trop rapidement. La remise de l'autorisation de bétonnage à l'entrepreneur n'est donc pas un geste à prendre à la légère.

4.3.5.3 Joints de construction

Un joint de construction est défini comme étant l'interface entre deux bétonnages réalisés dans des temps différents. Le terme joint de construction est employé dans le CCDG, mais on peut aussi les appeler à des joints froids ou des joints de coulée.

Certains joints de construction sont prévus sur les plans et doivent obligatoirement être effectués, comme ceux situés entre une semelle de pile et son fût, entre une unité de

fondation et le bloc d'assise d'un appareil d'appui, ou entre les parties d'une dalle reconstruite en phases. D'autres joints sont prévus sur les plans mais sont optionnels, comme ceux situés entre les béquilles d'un portique et la dalle.

Certains joints de construction sont par contre imprévus, tels ceux devant être réalisés à la suite d'un bris d'équipement. Dans ce dernier cas, on utilise parfois le terme « joint froid ». Le surveillant se doit de consulter le concepteur avant d'autoriser un joint de construction non prévu sur les plans; si le concepteur n'a pu être joint à temps, le surveillant doit tout de même le consulter afin de déterminer les mesures à prendre pour la reprise du bétonnage.

La poursuite du bétonnage à la suite d'un joint froid imprévu devra être traitée avec le concepteur selon la section 7.10 du CCDG « Travaux défectueux ». Dans le cas d'un joint de construction imprévu où il n'a pas été possible de réaliser un joint horizontal selon les exigences du CCDG, notamment à cause des difficultés à accéder à l'intérieur d'un coffrage élancé ou de l'impossibilité d'obtenir un joint horizontal de niveau et droit au moyen d'un chanfrein, et après consultation auprès du concepteur, les précautions suivantes devraient normalement être prises :

- enlever les coffrages au droit du niveau de la surface du béton durci;
- faire un trait de scie de 25 mm de profondeur sur toute la largeur de l'élément à bétonner;
- enlever le béton situé au-dessus du trait de scie sur une profondeur de 25 mm.

Notons que cette approche est valide dans la mesure où le joint froid est situé dans un endroit qui n'est pas dommageable structuralement. Après consultation avec le concepteur, il est possible qu'une démolition d'une partie de l'ouvrage soit nécessaire avant de reprendre le bétonnage.

Dans le cas du bétonnage des dalles, il faut se référer à la section 4.3.5.5 « Mise en place du béton plastique » de ce chapitre pour plus de détails relativement aux joints de construction.

Rappelons qu'il est interdit de plier les armatures au droit d'un joint de construction, comme cela a déjà été expliqué à la section traitant de la mise en place des armatures. Cette exigence du CCDG s'impose afin de ne pas endommager les armatures.

Avant de procéder à la reprise du bétonnage, il faut vérifier que les précautions suivantes ont été prises :

- resserrer les coffrages au joint pour assurer leur étanchéité et ainsi éviter tout écoulement de laitance. Cette exigence est nécessaire pour tenir compte du retrait de séchage du béton déjà en place;
- préparer les surfaces venant en contact avec le nouveau béton d'un joint horizontal, notamment le béton durci, les armatures et les coffrages lorsque cela est requis au CCDG. Cette préparation est alors faite au moyen d'un jet d'eau sous

pression (15 MPa ou 2 250 lb/po^2) afin de ne pas endommager la galvanisation des aciers d'armature. Selon le CCDG, cette exigence s'applique aussi aux joints verticaux; il faut alors procéder au traitement des surfaces avant de procéder à la mise en place des armatures et des coffrages de la phase suivante des travaux;

- enlever toute éclaboussure de béton séché provenant d'un bétonnage précédent. Les éclaboussures séchées sur les coffrages ou les barres d'armature provenant d'un précédent bétonnage doivent être enlevées avant de procéder au bétonnage suivant. Cette exigence du CCDG vise l'obtention d'un bon lien entre les barres d'armature et le béton. Une bonne pratique consiste cependant à enlever au fur et à mesure, par brossage par exemple, les éclaboussures de béton plastique sur les coffrages et les armatures d'un bétonnage subséquent;
- humidifier les surfaces de béton âgées de plus de 14 jours.

Les joints de construction imprévus doivent être évités le plus possible, surtout dans le cas d'éléments fortement sollicités par le milieu ambiant comme les unités de fondation au niveau de la zone de marnage, les dalles et les glissières. À cette fin, il est important de bien planifier le bétonnage, tel que cela est mentionné à la section 4.3.5.2 « Autorisation de bétonnage » de ce chapitre. Rappelons ici les points les plus importants : les équipements et les matériaux nécessaires à la mise en place du béton, les ouvertures temporaires dans les coffrages, le nombre d'ouvriers affectés au bétonnage, le rythme de livraison continu du béton au chantier et de l'équipement de rechange en cas de bris.

L'entrepreneur doit également évaluer avec précision le volume de béton nécessaire tout en prévoyant un léger surplus pour éviter la formation d'un joint de construction à la toute fin des travaux. En effet, un dernier chargement imprévu peut prendre beaucoup de temps à parvenir au chantier, surtout si la centrale de dosage est éloignée.

Finalement, dans le cas du bétonnage de structures où un joint froid est difficilement admissible, voire inacceptable, comme les tabliers en bétons précontraints en place et les portiques, il y a tout avantage à inciter l'entrepreneur à prévoir une centrale de remplacement en cas de bris à la centrale prévue au départ. Des indications quant à l'usine de remplacement sont données à l'article 15.4.1.1 du CCDG.

Les joints de construction imprévus en cours de bétonnage seront aussi abordés à la section 4.3.5.5 « Mise en place du béton plastique ».

4.3.5.4 Transport du béton plastique

Le transport du béton du camion malaxeur jusqu'aux coffrages peut se faire de diverses manières. Le choix de la méthode de mise en place revient à l'entrepreneur pourvu que le surveillant en soit avisé, tel que cela est mentionné à la section 4.3.5.2 « Autorisation de bétonnage » de ce chapitre. Le matériel de transport choisi doit assurer une mise en place continue et suffisante du béton selon le rythme d'arrivée des camions malaxeurs

au chantier. De plus, l'exigence du CCDG relative au déversement vertical du béton dans les coffrages s'impose afin de respecter la distance maximale de 1,5 m citée à la section 4.3.5.5 « Mise en place du béton plastique » de ce chapitre.

Le matériel employé pour le transport du béton ne doit pas déformer ou déplacer les coffrages et l'armature, ni leur transmettre des vibrations ou des chocs qui pourraient provoquer une ségrégation dans le béton plastique déjà en place. Le matériel de transport doit être propre afin d'empêcher toute contamination du béton et il peut être préalablement humidifié pour éviter d'assécher le béton lors du transport initial; cette humidification n'est pas interdite pourvu que l'eau ne ruisselle pas à l'intérieur des coffrages.

De plus, le matériel ne doit pas laisser échapper du béton ou de la laitance si l'on ne veut pas salir les coffrages et les armatures situés à quelque distance du lieu du dépôt du béton. Pour ce faire, dans le cas d'une pompe à béton, la ligne de pompage devrait être munie d'un clapet à son extrémité. Notons qu'il est très laborieux d'enlever les éclaboussures lors du bétonnage notamment à cause des difficultés à accéder à l'intérieur du coffrage et du fait que les ouvriers sont déjà affectés à d'autres tâches.

Les équipements généralement utilisés pour le transport du béton sont le camion malaxeur, la benne et la pompe à béton.

Camion malaxeur

La méthode la plus simple de transporter le béton jusqu'aux coffrages est d'utiliser le camion malaxeur sans autre équipement additionnel que la goulotte qui y est intégrée. Cela est possible dans la mesure où le camion malaxeur peut être positionné tout près des coffrages de manière à avoir accès à tous les points de déversement prévus.

Une goulotte est un conduit ouvert de forme semi-cylindrique et incliné servant à transporter le béton par gravité; mentionnons qu'une goulotte est aussi connue sous le terme familier de « dalle ». Une goulotte additionnelle peut permettre de rejoindre les points de déversement inaccessibles au camion malaxeur. Il est important dans ce cas d'avoir suffisamment de goulottes, ou de pouvoir aisément les déplacer, pour permettre de déposer le béton à moins de 1,5 m de sa position finale.

Les goulottes doivent être installées en ayant une pente suffisante qui permet au béton de glisser librement sans avoir sans cesse recours à des pelles. Il est strictement interdit de fluidifier le béton au moyen d'un jet d'eau afin de faciliter son écoulement; cet ajout d'eau augmente le rapport eau/liant du béton nuisant ainsi considérablement à sa durabilité. Il est par contre généralement toléré que les goulottes soient mouillées avant le déversement du béton de manière à assurer un bon écoulement.

Benne

La benne est un godet muni d'une porte à mâchoires à sa base; elle est généralement déplacée au moyen d'une grue. Elle permet d'avoir accès à tout secteur de bétonnage libre d'obstacles, situés au-dessus, qui pourraient entraver le déplacement de la grue. Lorsqu'elle est utilisée, la benne sert généralement au bétonnage des dalles, surtout celles réalisées avec du béton contenant des fibres.

Le béton est déposé dans la benne à partir du camion malaxeur. Une fois la benne rendue au-dessus du point de déversement, elle est vidée de son contenu grâce à une poignée qui permet l'ouverture de la porte à mâchoires.

Pompe à béton

L'usage des pompes à béton est très répandu. Le béton est déversé dans un réservoir placé à l'arrière de la pompe à partir du camion malaxeur; il est ensuite poussé par un ou des pistons à travers un réseau de conduits formant la ligne de pompage. Les plus petits modèles de pompes à béton peuvent être remorqués et leurs conduits déplacés manuellement. Les pompes de plus forte capacité sont, quant à elles, intégrées au véhicule de transport; un bras hydraulique articulé, appelé mât, sert de support aux premières sections de la ligne de pompage.

Tout arrêt prolongé du bétonnage peut être très dommageable pour certains éléments comme les dalles de portique et les tabliers en béton précontraint. Comme ces arrêts sont souvent reliés à un bris d'équipement, l'entrepreneur peut, dans certains cas, prévoir une pompe de rechange sur le chantier ou pouvant être rapidement mobilisée en cas de bris. Bien que cette façon de faire doive être encouragée par le surveillant, ce dernier ne doit pas compenser financièrement l'entrepreneur pour l'inciter à agir dans ce sens, car la gestion du risque associé au bris de la pompe relève exclusivement de l'entrepreneur. Mentionnons que pour les ouvrages d'envergure, une deuxième pompe sur le site peut permettre de poursuivre sans délai le bétonnage au lieu de déplacer la première pompe.

Dans le cas des bétons de type V-S, XIII, XIV-C, XIV-R, XV et XVII, la pompe utilisée lors du bétonnage de l'ouvrage doit être équipée du même modèle de système de pompage et comporter un mât de distribution d'une longueur inférieure ou égale à celle utilisée lors de l'essai de convenance. Cette exigence est basée sur le principe selon lequel le béton frais est particulièrement sensible à la chute verticale, et non au déplacement latéral. En exigeant le recours à une pompe de hauteur égale ou plus faible pour le bétonnage que pour l'essai de convenance, on s'assure que les effets défavorables sur le béton frais sont maximisés à l'essai de convenance. De plus, comme l'essai de convenance se déroule selon les conditions les plus défavorables (mât de la pompe à la verticale), le surveillant n'a pas à se préoccuper de la configuration du mât lors du bétonnage.

Afin de s'assurer que la dernière portion du mât de distribution de la pompe demeure pleine de béton durant le bétonnage et lors des arrêts de bétonnage (pour éviter que le béton tombe en chute libre et endommage le réseau d'air), l'entrepreneur doit installer les trois équipements suivants à la fin de la ligne de la pompe; en ordre, ce sont :

- section réductrice d'au moins 20 % du diamètre;
- section en « S » formée de deux coudes à 45° d'au moins 275 mm de longueur chacun;
- dispositif de fermeture.

La section réductrice doit toujours être mise en place quelles que soient les circonstances. La section en « S », qui ne doit pas être confondue avec celle localisée à la toute fin du mât de distribution, doit être installée après la section réductrice. Par contre, dans le cas du bétonnage d'éléments verticaux, la section en « S » est installée tout juste avant que cette dernière n'entre à l'intérieur des coffrages. Cette disposition du CCDG est nécessaire, car il n'est pas physiquement possible de faire entrer la section en « S » dans les coffrages verticaux; le fait de localiser la section en « S » juste au-dessus des coffrages permet tout de même de limiter les dommages aux caractéristiques du réseau d'air du béton.

Précisons qu'il n'est pas rare de voir sur les chantiers une inversion dans l'ordre d'installation de la section en « S » et de la section réductrice. Cette situation est en général tolérée en autant que l'essai de convenance a été réalisé avec la même configuration et qu'il était conforme.

Le dispositif de fermeture est quant à lui exigé pour le bétonnage de surfaces horizontales seulement, car tout comme la section en « S », il n'est pas possible de l'utiliser dans des coffrages verticaux. Ce dispositif peut prendre la forme d'un simple feuillard d'acier que l'on glisse dans une encoche faite près de l'extrémité de la ligne de pompage ou encore, d'une plaque d'acier que l'on fait pivoter à la toute fin de la ligne de pompage.

Depuis quelques années, on voit également apparaître parfois divers autres éléments sur la ligne de pompage. Parmi les plus fréquents, citons les dispositifs étrangleurs et les boyaux flexibles plats.

Le dispositif étrangleur est un système qui permet d'interrompre la coulée de béton dans la ligne de pompage. Il prend la forme d'une bague qui est installée généralement avant la section en « S » et la section réductrice, sur une portion de tuyau flexible. Lorsqu'il est actionné, le dispositif étrangleur vient coincer la section flexible, stoppant ainsi le passage du béton. Le fait de bloquer la ligne arrête également l'écoulement du béton sous le dispositif (un peu comme un liquide restera dans une paille si on en bloque l'extrémité supérieure avec le doigt). Ce dispositif peut être particulièrement utile dans le cas du bétonnage des pieux caissons pour pouvoir retirer des sections de ligne au fur et à mesure que cette dernière est remontée.

Le boyau flexible plat, ou « lay flat hose » en anglais, est une section flexible de ligne qui est ajoutée à la toute fin après la section réductrice et qui permet de limiter la hauteur de chute libre. Lorsque le boyau n'est pas empli de béton, ses parois sont repliées sur elles-mêmes. Lorsque du béton s'écoule dans la ligne et atteint le boyau, ce dernier s'ouvre pour laisser passer le béton, mais son caractère flexible fait qu'il empêche le béton de s'écouler en bloc. Le béton coule alors tranquillement vers le bas du boyau, retenu par ses parois. Ce boyau flexible peut donc être utile dans le cas de la coulée de béton dans des éléments élancés contenant une armature importante puisqu'il permet de descendre la ligne plus facilement à l'intérieur des coffrages.

Ces deux éléments peuvent donc être tolérés, même s'ils ne sont pas spécifiquement exigés dans le CCDG. Par contre, il est essentiel qu'ils aient été installés à l'essai de convenance pour pouvoir être utilisés pour le bétonnage des éléments. Ils ne remplacent pas non plus la section réductrice et la section en « S », qui doivent toujours être en place.

Pompage du béton

Les mélanges de béton utilisés au Ministère doivent se conformer à certaines exigences minimales dans le but d'assurer une bonne résistance et une bonne durabilité. Rien ne garantit toutefois qu'un mélange conforme à ces exigences puisse se mettre en place au moyen d'une pompe à béton; les principaux paramètres régissant le pompage étant le béton lui-même, la capacité de la pompe et le diamètre de la ligne de pompage. Puisque le choix du matériel utilisé pour le transport du béton relève de l'entrepreneur, il est de sa responsabilité d'établir les proportions du mélange de béton de façon à répondre aux exigences rhéologiques nécessaires à la mise en œuvre. La rhéologie du béton fait référence aux propriétés d'écoulement de ce dernier, notamment à sa viscosité.

Mentionnons que l'essai d'affaissement à lui seul ne permet pas de conclure qu'un béton peut être pompé ou non. Un mélange de béton qui ne peut pas être pompé peut présenter une valeur d'affaissement identique et même supérieure à un autre mélange qui lui peut l'être sans difficulté. Une analyse de la rhéologie du béton doit être effectuée par le fournisseur pour s'assurer que le mélange peut être pompé.

Un béton que l'on désire transporter au moyen d'une pompe à béton doit contenir suffisamment de pâte et rester stable sous pression. Un mélange contenant trop peu de pâte ou des granulats trop anguleux engendre une importante friction sur les parois des conduits de pompage; si cette friction dépasse la force appliquée au béton par le piston de la pompe, le béton ne peut pas se pomper.

Bien qu'un béton fluide puisse également être impossible à pomper à cause des problèmes de ségrégation, cela ne s'applique généralement pas aux bétons de type XIII, aux bétons autoplaçants (bétons de type XIV-C, XIV-R et XIV-S), aux bétons antilessivage (béton de type XV) ou aux bétons semi-autoplaçants (XVII), car ceux-ci n'ont pas ce type de problèmes malgré leur fluidité élevée. En effet, le béton de type XIII est un béton riche en liant et les bétons autoplaçants et antilessivage ont des

agents colloïdaux qui permettent d'éviter ces problèmes. Les autres types de béton utilisés au Ministère sont employés selon des valeurs d'affaissement inférieures au seuil au-delà duquel des problèmes peuvent survenir.

Il est important de savoir qu'un béton qui peut être pompé au moyen d'une ligne de pompage donnée peut ne plus l'être si la ligne est modifiée. Ainsi, un mélange de béton pouvant être pompé le long d'une ligne de 30 m de longueur à l'horizontale peut devenir impossible à pomper si on ajoute un coude à 90° ou une section droite additionnelle de 10 m à la ligne de pompage. En effet, ce changement de configuration, ou tout autre ajout comme une section réductrice, peut augmenter la friction totale de la ligne de pompage au-delà de la capacité de la pompe. Les problèmes liés au pompage doivent donc être analysés en considérant la pompe utilisée et la configuration de la ligne de pompage, mais aussi le mélange de béton.

4.3.5.5 Mise en place du béton plastique

Lorsqu'une pompe à béton est utilisée pour la mise en place du béton, il est fréquent que l'entrepreneur lubrifie les conduits de la pompe au moyen de mortier avant de procéder au bétonnage comme tel. Cette façon de procéder peut faciliter le pompage et n'est pas interdite, puisqu'elle évite la ségrégation du béton en début de bétonnage. Ce mortier contient généralement un agent de pompage qui aide le mortier à adhérer aux parois de la ligne de pompage afin d'en accélérer la lubrification. Il faut, par contre, prendre soin de ne pas envoyer le mortier ressortant à l'extrémité de la pompe (et le premier 0,5 m3 de béton) dans les coffrages, puisque celui-ci n'a rien des propriétés du béton à mettre en place.

Le béton plastique doit être mis en place dans les coffrages en couches successives d'une épaisseur maximale de 500 mm afin d'éviter la ségrégation dans chaque couche et de permettre une vibration adéquate. Il est fréquent dans les éléments comme les culées et les murs de constater des démarcations entre les différentes levées lors du décoffrage. Ces démarcations de coulées sont bien souvent liées à des épaisseurs de levées trop importantes; en effet, lorsque les levées dépassent 500 mm, il devient difficile pour les ouvriers effectuant la vibration de bien plonger la tige du vibrateur jusque dans la levée inférieure pour bien marier ces deux levées ensemble, comme nous le verrons dans la section consacrée à la vibration du béton.

L'épaisseur maximale des levées doit être respectée sauf dans le cas des bétons de type XIV-R et XIV-C, ces derniers n'étant pas vibrés. La limitation de l'épaisseur des couches permet aussi de diminuer les risques de créer des joints froids entre les couches successives, puisque la cadence de mise en place des différentes couches s'en trouve accélérée.

La hauteur de chute libre du béton dans un coffrage ne doit pas dépasser 1,5 m afin d'empêcher la ségrégation du béton. Cette exigence du CCDG s'applique à la sortie de l'équipement utilisé pour le transport du béton, y compris le tuyau de descente à l'intérieur du coffrage (voir la figure 4.3-14 pour une meilleure visualisation de ce concept).

Le déplacement latéral du béton dans un coffrage ne doit pas dépasser 1,5 m afin d'empêcher sa ségrégation sauf dans le cas des bétons de type XIV-R. En effet, il est facile, lors du déplacement du béton au moyen d'un râteau, d'un vibrateur ou d'un autre outil, de ne déplacer que les gros granulats du mélange. Il s'ensuit alors un déséquilibre dans la proportion des granulats.

Pour les bétons autoplaçants de type XIV-R seulement, le CCDG limite leur déplacement à une distance de 10 m plutôt que 1,5 m car ces bétons ont une rhéologie particulière qui leur permet d'être déplacés sur de longues distances dans les coffrages sans subir de ségrégation. L'exigence du placement en couches successives de 500 mm ne s'applique pas non plus à ces bétons car ils n'ont pas à être vibrés. Ces bétons sont cependant soumis aux mêmes limites que tous les bétons en ce qui concerne les hauteurs de chute libre.

Dans le cas de certains coffrages utilisés pour une réparation, il peut être impossible de descendre l'extrémité de la pompe à l'intérieur du coffrage à partir de l'ouverture supérieure de ce dernier étant donné le manque d'espace. Afin d'éviter une hauteur de chute du béton trop grande, il faut utiliser les ouvertures temporaires pratiquées à cet effet lors de la mise en place des coffrages. Ces ouvertures temporaires, lorsqu'elles sont bien disposées, permettent également de respecter la valeur maximale permise pour le déplacement latéral du béton. Les ouvertures doivent être bloquées au niveau des coffrages environnants au fur et à mesure du bétonnage; cette précaution s'impose afin d'éviter de marquer les surfaces de béton.

Lorsque le bétonnage est interrompu de façon imprévue, la surface exposée de béton plastique devrait être maintenue humide en tout temps. Tant que le temps écoulé depuis le gâchage de ce béton est inférieur à 120 minutes, la reprise du bétonnage peut se faire sans autre formalité. Par contre, passé ce délai, un vibrateur devrait être foncé dans le béton à intervalles de 15 minutes. Le vibrateur devrait être en mesure de s'enfoncer facilement dans le béton sous son propre poids; au moindre signe de durcissement, le bétonnage devrait être interrompu pour au moins 24 heures. Un joint de construction devrait être immédiatement réalisé selon les exigences du CCDG alors que la malléabilité du béton le permet encore.

La durée du temps de prise mentionnée au devis spécial, pour contrer l'effet de réduction de temps prise associé à l'utilisation du superplastifiant à base de polycarboxylate, ne doit pas être interprétée par l'entrepreneur comme une autorisation d'office du surveillant à dépasser le délai de 120 minutes entre le malaxage et le déchargement du béton; si tel était le cas, le temps de prise minimal demandée au devis spécial n'aiderait en rien à éliminer les problèmes (joints froids, nids d'abeille…) mentionnés au paragraphe précédent. Si l'entrepreneur désire, en plus d'utiliser du superplastifiant à base de polycarboxylate, excéder le délai de 120 minutes cité plus haut, par exemple pour des longues distances de transport, il devra augmenter encore plus le temps de prise mentionné au devis spécial.

Précisons d'ailleurs que le CCDG permet d'augmenter cette limite de 120 minutes avant déchargement sous certaines conditions. Ainsi, la pertinence d'une telle modification doit être démontrée par l'entrepreneur (par exemple, difficultés d'approvisionnement) et doit surtout être approuvé par le surveillant. Cette approbation se doit d'être planifiée au moment de la tenue des réunions de chantier ou autre car la formule de mélange doit être prévue en conséquence, de même que l'essai de convenance s'il y a lieu. Conséquemment, un entrepreneur ne peut demander une extension du délai de 120 minutes au moment du bétonnage de par la simple présence de retardateur de prise dans le mélange de béton utilisé.

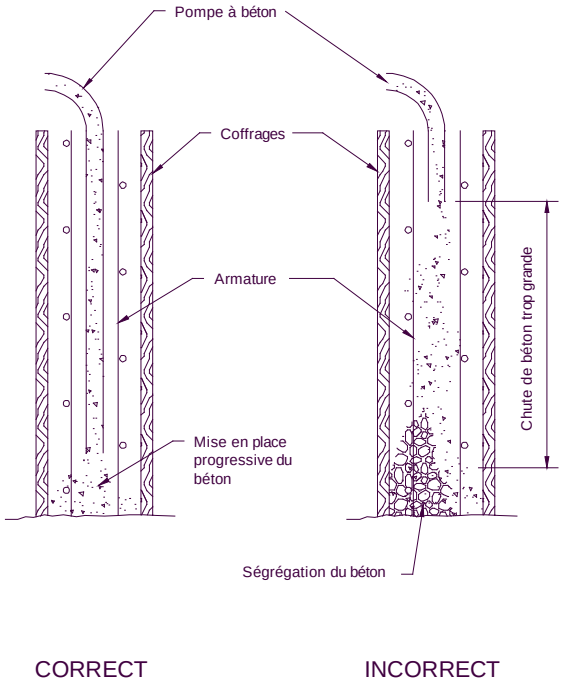


Figure 4.3-14 Bétonnage d'un élément élancé

Pluie

Les exigences relatives à l'interdiction du bétonnage à la pluie s'appliquent pour le bétonnage d'une dalle, d'un trottoir ou d'une piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle. Dans le cas des autres ouvrages, comme il est en général plus facile de protéger efficacement les surfaces exposées contre la pluie, le CCDG n'interdit pas le bétonnage. Par contre, le CCDG exige que l'entrepreneur évite l'accumulation d'eau à la surface du béton en cours de bétonnage (ce qui peut survenir lors d'orages, par exemple) et protège la surface du béton de tout apport d'eau pendant la finition jusqu'à ce que la cure débute. Ainsi, si un faible apport d'eau par la pluie peut être toléré pendant le bétonnage puisque cette eau sera répartie dans la masse du béton, le surveillant devra être particulièrement vigilant, une fois la coulée terminée, pour éviter l'apport d'eau, puisque cette eau serait alors concentrée à la surface et mélangée au béton lors des opérations de finition. Il en résulterait alors un béton de surface peu durable, susceptible d'être vulnérable à l'écaillage de surface.

Avant le bétonnage des dalles, des trottoirs ou des pistes cyclables, le surveillant devrait s'assurer que les probabilités de pluie sur le site des travaux sont très faibles, voire inexistantes, pendant la durée du bétonnage. Compte tenu de la difficulté d'arrêter le bétonnage d'une dalle au bon endroit et des réticences de l'entrepreneur à cesser les travaux à cause des coûts importants qui y sont associés, il ne faudrait pas, par exemple, entreprendre les travaux lorsque les conditions atmosphériques sont instables et que des possibilités d'orage sont prévues, comme c'est souvent le cas en période estivale.

Bien qu'il soit interdit au CCDG de commencer le bétonnage d'une dalle lorsqu'il pleut, il est toujours possible, malgré une bonne préparation, que la pluie survienne en cours de bétonnage. Si cela se produit, il faut immédiatement cesser toutes les opérations, de préférence avant même que la pluie ne débute. En effet, puisqu'il est assez rare qu'il ne soit pas possible de voir venir un orage ou une averse, on devrait normalement avoir le temps de procéder à la finition du béton déjà déposé sur les coffrages et de protéger le béton plastique avant que la pluie ne commence. Pour ce faire, il est recommandé de réduire au maximum la largeur de béton plastique devant l'équipement de finition et de faire la finition du béton immédiatement à l'arrière de celui-ci lorsque les conditions météorologiques sont incertaines.

Il faut attendre la fin de la pluie avant de reprendre les travaux. Si celle-ci semble vouloir persister, il faut suspendre définitivement les travaux et retourner tous les camions en attente. Après entente écrite avec l'entrepreneur, il est possible cependant de poursuivre le bétonnage malgré la pluie si les conditions suivantes sont satisfaites :

- l'équipement de finition est levé de 5 mm;
- le bétonnage est poursuivi pour vider tous les camions en attente. Celui-ci doit cependant être interrompu au premier joint de construction rencontré, selon la séquence de bétonnage prévue sur les plans, même s'il reste encore des camions en attente. Ces derniers doivent alors être retournés;
- après la fin de la cure du béton de la dalle, il faut enlever par meulage la surépaisseur de 5 mm, puisque ce béton est de mauvaise qualité.

Lorsque les conditions météorologiques deviennent incertaines en cours de bétonnage, il serait prudent de faire la cure au moyen des toiles absorbantes dès que cela est possible pour protéger le béton plastique en cas de pluie imprévue. Il est généralement possible de mettre en place les toiles absorbantes immédiatement après la finition du béton; si cette opération est faite avec soin, la surface de béton ne sera pas endommagée.

Si l'entrepreneur doit interrompre le bétonnage d'une dalle d'un pont de plus d'une travée à cause de la pluie, un joint de construction d'urgence doit être fait, préférablement à l'un des emplacements prévus à la séquence de bétonnage des plans.

Le joint de construction d'urgence est réalisé selon une ligne droite suivant le sens du biais du pont (parallèle à l'axe des appuis sur les unités de fondation) et à la verticale au moyen de tiges de support en mousse de polystyrène et de pièces de bois. Ces matériaux doivent être disponibles sur le chantier avant le début du bétonnage. Si un joint de construction d'urgence est réalisé en déposant seulement des pièces de bois sur le dessus des armatures, il faut démolir le béton friable et peu résistant du joint au moyen d'un marteau pneumatique manuel de 7 kg avant de poursuivre les travaux. Cette démolition ne devrait se faire qu'après la fin de la période de cure de sept jours afin d'éviter d'endommager le béton à conserver.

Dans le cas particulier d'un portique ou d'un tablier en béton précontraint par post-tension où le bétonnage doit être interrompu, le surveillant se doit de consulter le concepteur pour s'enquérir des mesures à prendre pour la construction du joint d'urgence.

S'il n'a pas été possible de faire un joint de construction d'urgence à l'emplacement prévu sur les plans et selon les recommandations précédentes, le surveillant se doit de consulter le concepteur pour déterminer les mesures à prendre pour la reprise du bétonnage d'une dalle.

Précisons en terminant que toutes les mesures présentées ci-dessus, prévues en cas de pluie, peuvent aussi s'appliquer aux chutes de neige lors d'un bétonnage de dalle par temps froid au moyen d'un abri de type 3 ou 4.

Coffrages et étaiement

Une inspection ponctuelle des coffrages et de l'étaiement doit être effectuée lors du bétonnage pour déceler d'éventuels signes de faiblesse, comme des bombements, des tassements ou des déformations. Tout signe de faiblesse doit immédiatement être tenu en compte par l'entrepreneur et les correctifs appropriés doivent être rapidement mis en place. Si le problème est important, le bétonnage doit être interrompu jusqu'à ce que les mesures correctives aient été prises par l'entrepreneur.

L'affaissement d'un étaiement devrait être suivi lors de la mise en place du béton. Cet affaissement peut être mesuré au moyen de baguettes de contrôle placées à quelques endroits stratégiques comme les centres de travées; la figure 4.3-15 illustre une façon d'utiliser ces baguettes. Le surveillant devrait de temps à autre vérifier lui-même l'affaissement pour s'assurer qu'il est similaire à celui calculé par le concepteur de l'étaiement. Si l'affaissement constaté montre un écart important par rapport à celui calculé par le concepteur de l'étaiement, le bétonnage devrait être interrompu jusqu'à ce que la source de cet écart soit identifiée.

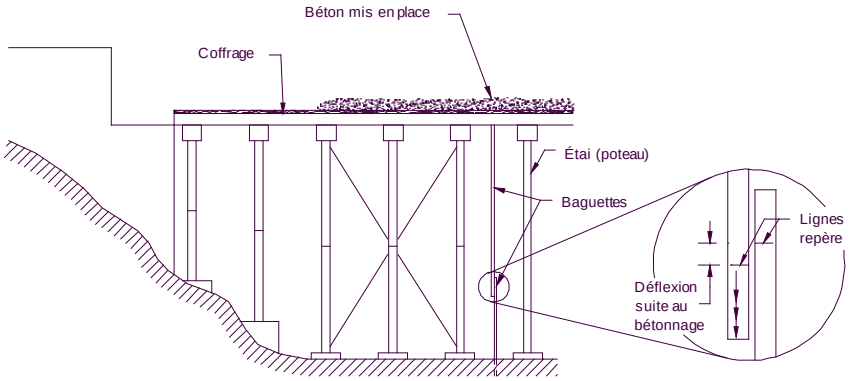


Figure 4.3-15 Contrôle de déflexion d'un étaiement lors du bétonnage d'un tablier

Joint dalle sur culée

Le joint dalle sur culée est généralement utilisé lorsque le mouvement longitudinal à une culée est faible, inférieur à 20 mm, ou nul comme dans le cas où les appareils d'appui qui s'y trouvent sont fixes. Le joint dalle sur culée comporte plusieurs avantages notamment son coût peu élevé, et son confort accru pour les usagers.

Le principe du joint dalle sur culée consiste à prolonger la dalle du tablier du pont au-dessus du mur garde-grève de la culée. Le joint est alors situé entre le dessous de la dalle et le dessus du garde-grève et se trouve ainsi protégé des éléments. L'étanchéité de ce type de joint est assurée par le rabattement du niveau de la nappe phréatique sous celui du joint. Une bande de membrane autocollante sans gravillons collée sur le dessus du garde-grève empêche l'adhérence entre les deux faces de béton. La membrane doit être autocollante de façon à éviter qu'elle se déplace avant et lors du bétonnage de la dalle.

Précisons qu'il n'est pas nécessaire d'imposer de délai entre la fin du bétonnage du garde-grève et la pose de la bande de membrane, car dans ce cas-ci, la membrane ne sert qu'à empêcher la liaison des deux bétons et à laisser une possibilité de glissement. Comme elle n'a pas à être étanche, elle peut également être posée sans que des exigences particulières de séchage du béton de contact soient prises en compte.

Étant donné que l'interface entre le garde-grève et le prolongement de la dalle doit être en mesure de reprendre les mouvements longitudinaux du tablier, la surface de contact entre ces deux parties du pont se doit d'être la plus horizontale possible selon l'axe longitudinal du pont, sinon un risque sérieux de fissuration de la dalle est à craindre.

Le béton de la dalle peut être mis en place dès le lendemain du bétonnage du garde-grève pourvu que les précautions soient prises afin que la cure du béton du garde-grève ne soit pas interrompue.

Lorsque le bétonnage de la dalle commence au joint dalle et que la travée adjacente à ce joint mesure plus de 30 m, les plans indiquent un joint de coulée pour la portion de dalle située au-dessus du garde-grève. Ce joint de coulée est nécessaire afin d'empêcher un déchirement dans le béton de la dalle au droit de la face du garde-grève, causé par le mouvement horizontal de l'extrémité de dalle au moment du bétonnage. En effet, la mise en place du béton de la dalle cause une déflexion des poutres qui se traduit par une rotation des appareils d'appui, ce qui entraîne le mouvement horizontal de la dalle au-dessus du mur garde-grève de la culée. Comme ce mouvement se produit alors que le béton de cette portion de la dalle n'a que très peu de résistance, la friction mobilisée par la membrane à l'interface dalle-culée suffit à faire fissurer l'extrémité de la dalle au-dessus du mur garde-grève.

Dans le cas d'une culée existante, une bande de caoutchouc est fixée à l'extrémité de la dalle afin d'éviter une éventuelle infiltration d'eau. Cette bande de caoutchouc empêche également les granulats du remblai de la route de s'insérer dans le joint horizontal en cas de levage du tablier.

Afin de drainer l'eau provenant du dessus du tablier ou de la route, un système de drainage préfabriqué de type géocomposite (âme drainante filtrante) est fixé sur l'arrière de la culée; les marques de commerce des produits acceptés par le Ministère sont indiquées au devis spécial. Le système de type géocomposite est facile à mettre en place, car son ensablement n'est pas possible même si du matériau granulaire se retrouverait entre le géocomposite et le béton; il suffit donc de fixer le géocomposite à sa partie supérieure et de le laisser tomber comme on le ferait pour une toile de fenêtre.

Une ouverture doit être prévue au droit des trottoirs, des pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle, des chasse-roues ou des glissières pour permettre les mouvements longitudinaux du tablier à ces endroits. Cette ouverture de 25 mm est étanchée au moyen d'une garniture compressible. Mentionnons que la base de l'ouverture doit avoir une pente de 50 mm vers l'intérieur de la culée; le but de cette pente est d'empêcher l'eau qui pourrait éventuellement s'infiltrer par la garniture de s'écouler sur le mur en retour.

Comme pour tout joint de construction, l'entrepreneur doit bétonner chacun des côtés de l'ouverture lors de deux bétonnages différents comme cela est demandé au CCDG. Les deux côtés de l'ouverture doivent être parallèles entre eux et bien droits pour que la garniture soit la plus efficace possible; il s'agit ici de la principale difficulté associée à ce type de joint. L'utilisation d'un panneau isolant en mousse pour combler l'ouverture ne devrait être permise que pour le second bétonnage, alors que le panneau est fixé au béton durci du premier bétonnage, éliminant ainsi tout risque de déformation lors de la mise en place du béton. La tolérance de construction sur l'aplomb des coffrages verticaux, tel que cela est mentionné dans la section 4.3.1 « Coffrages » de ce chapitre, doit donc être respectée, à savoir 1 : 400. En cas de doute, il est recommandé d'effectuer un test d'étanchéité une fois la garniture en place, et ce, avant d'accepter les travaux.

La garniture compressible doit être mise en place avant la pose du pavage, car le dessous de la garniture se prolonge sous le revêtement; cela demande de la vigilance, car cet aspect des choses est souvent négligé. La garniture doit être installée dans l'ouverture de façon à obtenir une distance libre d'environ 15 mm entre la garniture et le dessus du béton environnant; cette exigence s'impose afin d'éviter que les équipements de déneigement l'endommagent. Il est important de mentionner qu'un lubrifiant doit être utilisé pour faciliter la mise en place de la garniture; ce lubrifiant, une fois séché, aide à maintenir la garniture en place.

Le joint dalle sur culée peut être réalisé sans difficulté sur la plupart des types de ponts existants. Dans le cas d'une dalle épaisse ou d'un tablier en béton précontraint par post-tension faisant l'objet d'une réparation, des précautions supplémentaires doivent être prises afin de limiter la profondeur de la démolition du béton de la dalle. Cette exigence s'impose afin d'éviter de trop affaiblir le système structural. Les plans devraient être clairs à ce chapitre et, si ce n'est pas le cas, le surveillant se doit de consulter le concepteur pour obtenir les précisions requises. Mentionnons que les plans peuvent parfois faire mention de la nécessité d'utiliser un support temporaire.

4.3.5.6 Mise en place du béton plastique des dalles

La construction de la dalle marque une étape importante dans la réalisation d'un pont, parce que la dalle est l'élément de pont le plus affecté par les agressions de la circulation et de l'environnement.

En effet, l'entretien des dalles est le poste budgétaire le plus important au chapitre de l'entretien des structures, d'où l'importance d'utiliser au maximum les propriétés de durabilité associées aux matériaux tels que le béton ayant une bonne durabilité et l'acier galvanisé. Ces matériaux à eux seuls ne suffisent pas à assurer la durabilité des dalles. Il faut aussi que les matériaux soient mis en place correctement, de façon à ce qu'ils remplissent pleinement leur rôle respectif.

Les dalles servent à supporter les charges routières et, dans le cas d'un pont à poutres, à les transférer au système structural. Outre cet aspect structural, les dalles doivent être sécuritaires et confortables pour les usagers. Le confort de roulement constitue en effet le critère principal dont se servent les usagers pour évaluer la qualité d'un pont. Il faut donc veiller à ce que les profils transversal et longitudinal du dessus du béton de la dalle soient conformes aux plans et non pas soumis aux aléas des imperfections de nivellement des poutres. Le respect du profil longitudinal permet également d'harmoniser parfaitement le pont avec la route sur laquelle il est situé.

Puisque la dalle sur poutres d'un pont est un élément en béton mince qui doit être construit à l'intérieur de tolérances dimensionnelles serrées et selon des profils précis, sa construction exige des connaissances particulières de la part des intervenants, qui ne sont pas normalement requises pour la construction des autres éléments du pont.

Le surveillant se doit d'organiser une rencontre regroupant tous les intervenants concernés afin de s'assurer que ceux-ci comprennent bien chacune des exigences techniques relatives à la construction des dalles. Cette rencontre est aussi l'occasion idéale pour l'entrepreneur d'exposer les méthodes de travail qu'il veut privilégier pour chacune des étapes des travaux. Il est préférable de faire cette rencontre suffisamment longtemps avant la construction de la dalle afin de laisser à l'entrepreneur le temps de s'y préparer adéquatement et, au besoin, de permettre à l'ensemble des intervenants d'harmoniser leurs attentes.

Le surveillant se doit de consulter un ingénieur spécialiste en structures pour toute dalle ayant des caractéristiques particulières, notamment celles présentant une transition « bombement-dévers », un point haut transversal situé sur une ligne longitudinale non parallèle aux côtés extérieurs d'un pont de largeur constante, un point bas transversal localisé au droit d'une glissière médiane ou un bétonnage excédant une largeur de 20 m.

Pontage

Un pontage doit être déjà en place avant de procéder à la mise en place des coffrages d'une dalle sur poutres à construire au-dessus d'une route. Dans le cas de la construction d'une dalle sur poutres neuves (pont ou tablier neuf), l'entrepreneur doit mettre en place un pontage entre les poutres vis-à-vis les voies de circulation sous l'ouvrage, incluant leurs accotements, afin de protéger les usagers de la route de toute chute d'objet, de débris, de béton frais, etc. Le pontage peut aussi servir de plate-forme de travail pour les ouvriers chargés de la mise en place et de l'enlèvement des coffrages de la dalle. Précisons que le pontage n'est pas obligatoire au-dessus des porte-à-faux de rive du pont à cause des difficultés d'installation.

Le pontage associé à la reconstruction d'une dalle est traité à la section 1.2.1 « Démolition complète » de ce manuel puisqu'il faut, dans ce cas, mettre en place le pontage avant de débuter la démolition de la dalle. L'entrepreneur doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG pour la remise du plan de pontage, y compris le délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour les étudier et le nombre minimal de copies de plans à fournir selon le format ISO A1. La conception du plan de pontage doit répondre aux exigences du CCDG.

Une fois le pontage construit, il doit être inspecté par un ingénieur de l'entrepreneur et ce dernier doit signer l'avis écrit que l'entrepreneur doit remettre au surveillant. L'ingénieur ne peut pas déléguer cette activité à une autre personne car le Ministère tient à ce que l'inspection soit faite par un ingénieur compte tenu des graves conséquences qui peuvent découler d'un vice de construction.

Mentionnons que le surveillant doit tenir compte de la gestion de la circulation, notamment lors de la construction du pontage et lors du bétonnage de la dalle.

Rails de roulement

L'équipement de finition se déplace sur des rails de roulement. Ces rails sont décrits dans le CCDG.

Les rails doivent se prolonger sur les approches du pont, ou d'une partie de pont dans le cas de plusieurs bétonnages successifs, afin que l'équipement de finition ait accès aux extrémités de dalle. Pour ce faire, l'entrepreneur doit construire, au besoin, un système de support, tel qu'un échafaudage ou un remblai temporaire (plus rare). Par contre, il est très fréquent dans le cas de nouvelles constructions de culées avec des murs en retour, que l'entrepreneur préfère se servir de ces murs en retour afin d'y supporter et prolonger les rails aux approches pour l'accès de l'équipement de finition. La longueur sur les approches doit être suffisante pour que l'équipement de finition soit entièrement à l'extérieur de la surface à bétonner; il est d'usage d'augmenter cette longueur pour y déposer aussi les deux plates-formes de travail. Les rails de roulement doivent excéder chacune des extrémités de dalle ou partie de dalle à bétonner d'une distance minimale de 3 mètres conformément aux exigences du CCDG. En milieu fortement urbanisé, il peut arriver qu'il ne soit pas possible de prolonger les rails sur les approches, compte tenu de la présence d'une rue transversale très rapprochée qui doit être maintenue ouverte à la circulation. Dans ce dernier cas, les plates-formes de travail sont déposées sur les rails de roulement après le début du bétonnage.

Les rails sont déposés sur des supports ajustables en hauteur; ceux-ci comportent trois parties : une tige filetée, un berceau soudé sur le dessus de la tige pour recevoir le rail de roulement et un écrou pour ajuster la hauteur du rail. Ces supports sont distancés selon les exigences du CCDG. Il est de bonne pratique de localiser un de ces supports sous chaque assemblage des tubes afin de solidifier celui-ci; il est facile de procéder ainsi puisque la longueur des tubes est un multiple de la distance exigée entre chaque support.

La localisation des rails est spécifiée dans le devis spécial. Ces rails sont généralement situés à l'arrière du chasse-roue ou de la glissière en béton. Les supports des rails sont alors déposés sur une lisse en bois; un trou est foré dans la lisse pour permettre d'insérer la partie de la tige filetée située sous l'écrou. Il est de bonne pratique d'ajouter une rondelle en acier sous l'écrou pour éviter que le support s'enfonce graduellement sous le passage répété de l'équipement de finition.

Bien que les rails soient généralement localisés à l'arrière du chasse-roue ou de la glissière en béton, le devis spécial peut permettre ou exiger de localiser le rail sur une poutre. En effet, lorsque la poutre de rive d'un pont est située sous un trottoir ou une piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle, le devis permet habituellement de localiser le rail sur cette poutre plutôt qu'à l'arrière du dispositif de retenue; cette façon de procéder facilite les travaux de l'entrepreneur tout en ne compromettant pas la durabilité de la dalle. Puisque le rail se situe au-dessus du niveau des armatures du trottoir ou de la piste cyclable, les supports du rail sont relativement longs et ils doivent, par conséquent, être solidifiés pour résister aux charges latérales.

Lorsque le devis spécial exige de localiser le rail sur une poutre même si cette dernière est située sous la voie carrossable, le surveillant ne doit pas permettre l'installation du rail sur le coffrage en porte-à-faux, car la poutre de rive n'a probablement pas la capacité de résister aux charges de construction. Il ne faut pas oublier d'ajouter dans ce cas un manchon en plastique autour du support du rail pour éviter d'avoir du béton au-dessus de l'écrou du support; cette précaution s'impose afin de permettre l'enlèvement du support après le durcissement du béton.

Lorsque le rail est localisé sur une poutre, un tube en acier est alors fixé par soudage à la tête des goujons d'une poutre d'acier ou aux étriers d'une poutre en béton afin d'y insérer le support du rail. Dans le cas d'un pont avec poutres d'acier, il est très important de ne pas souder le tube directement sur le dessus de la poutre; cette exigence du CCDG s'impose afin d'éviter des amorces de fissuration dans l'acier des poutres.

Dans le cas d'un trottoir ou une piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle situé au-dessus d'une poutre en acier qui n'a pas de goujons et à moins d'une indication contraire, le devis spécial exige habituellement que les rails soient localisés à l'arrière du dispositif de retenue. En effet, il peut arriver qu'il ne soit pas possible d'ajouter des goujons à cause de l'impact sur la capacité des poutres (effet de fatigue). Le surveillant se doit de consulter le concepteur avant d'ajouter des goujons sur des poutres existantes.

Lorsque les travaux sont réalisés en phases, le rail attenant à une autre phase de travaux doit être localisé tout juste à l'extérieur de la phase de dalle à bétonner. Pour un pont neuf ou un tablier neuf, le rail doit se situer sur la partie de pont à bétonner pour tenir compte de la perte de cambrure des poutres lors du bétonnage (voir le CCDG). Pour une reconstruction de dalle sur des poutres existantes, ce rail est parfois déposé sur le bord de la dalle non démolie de la phase de travaux à venir, ou sur le bord de la dalle neuve de la phase de travaux déjà réalisée; des trous de faible profondeur sont souvent forés dans le béton de la dalle afin d'y insérer les supports du rail. Cette situation est en général acceptable, car les poutres sont reliées entre elles par les contreventements. La poutre à bétonner attenante à la dalle où est déposé le rail a donc tendance à moins remonter lors de la démolition de la phase de dalle; elle devrait conséquemment montrer moins de perte de cambrure au bétonnage que les poutres adjacentes de la zone à bétonner. Le rail installé sur le béton existant est, dans ce cas, installé en ne prenant en compte aucune ou très peu de perte de cambrure, tandis que le rail opposé, placé sur la partie de pont à bétonner, est installé en tenant compte de la perte de cambrure des poutres tel qu'expliqué en début de paragraphe.

Compte tenu des restrictions d'espace souvent rencontrées, il faut s'assurer dans ce dernier cas d'avoir une distance suffisante entre le rail et les dispositifs de retenue temporaires (glissières) pour permettre le libre déplacement de l'équipement de finition.

Les deux rails de roulement doivent être parallèles afin de réduire au minimum les charges latérales sur les supports des rails. Lors d'un bétonnage de largeur variable, il faut s'assurer de solidifier suffisamment les supports, puisque les rails ne sont pas parallèles. Dans ce dernier cas, il faut opérer l'équipement de finition à vitesse réduite pour laisser le temps aux pattes de levage de s'ajuster en douceur de manière à diminuer le plus possible les charges latérales sur les supports des rails.

Matériel

La construction de dalles est réalisée au moyen d'équipements spécialisés : la finisseuse à béton automotrice et la règle vibrante. L'utilisation de ces équipements est nécessaire pour obtenir en tout point de la dalle les profils transversal et longitudinal désirés et l'enrobage exigé de béton au-dessus des armatures.

La finisseuse à béton automotrice est privilégiée par le concepteur pour toute dalle, ou partie de dalle pour des travaux réalisés en phases, ayant une superficie supérieure à 200 m^2. La finisseuse produit en effet un béton de surface sans surplus de laitance et un meilleur profil longitudinal surtout lors de l'utilisation de bétons à faible rapport eau/liant.

La règle vibrante est utilisée pour les dalles de faible superficie à cause de son poids et de son gabarit, moins importants, permettant ainsi des économies de coffrages en porte-à-faux, de manutention et d'ajustement d'équipement.

Le choix de l'équipement n'appartient pas ni à l'entrepreneur ni au surveillant mais bien au concepteur de par le devis spécial.

L'équipement de finition est conçu pour opérer à angle droit par rapport à la ligne de centre du pont. Ce positionnement est valable aussi pour les ponts avec un biais usuel, même si cela entraîne une faible distorsion du dessus de la dalle une fois le bétonnage terminé. Par contre, dans le cas de tabliers avec biais plus important, la nouvelle génération de finisseuses automotrices C-450 de Gomaco peut aussi être opérée parallèlement à l'axe du biais du tablier de pont. Cet avantage est loin d'être négligeable puisqu'il élimine les problèmes de distorsions plus importants au tablier qui pourraient survenir lors du bétonnage d'une dalle sur poutres (poutres chargées inégalement de béton frais), ce qui affecterait les profils finaux du dessus de dalle ainsi que l'enrobage de béton au-dessus de la nappe supérieure d'armatures de la dalle. Dans de telles circonstances, les profils finaux ainsi que l'enrobage seraient excessivement difficiles à corriger une fois le béton durci, il serait donc pratiquement impossible d'obtenir des résultats conformes aux exigences.

Compte tenu des connaissances nécessaires à l'ajustement et à l'opération de la finisseuse automotrice, il est exigé au CCDG que l'opérateur de la finisseuse relève du propriétaire de l'équipement. En effet, puisque l'opérateur est souvent le même d'un pont à l'autre, l'expérience acquise par ce dernier est fort utile pour réduire au minimum les pertes de temps en chantier et pour maximiser la qualité des travaux.

Matériel – finisseuse automotrice

Les caractéristiques et la marque de commerce de la finisseuse automotrice sont décrites dans le CCDG et le devis spécial. La finisseuse Gomaco modèle C-450 est exigée, car c'est actuellement la seule marque commerciale de finisseuse qui a été éprouvée selon les exigences du Ministère. La finisseuse automotrice comprend trois parties principales : le pont roulant, les pattes de levage et le module mobile.

Le pont roulant est un treillis métallique résultant du montage de sections de 600, 1 200, 2 400 ou 3 600 mm de longueur; ce treillis est suffisamment rigide pour permettre une largeur de bétonnage allant jusqu'à 18 m. Si la largeur de bétonnage excède cette valeur, un treillis de stabilisation doit être mis en place au-dessus de la finisseuse; cette exigence du CCDG est importante pour éviter que le pont roulant ne se déforme lors du passage du module mobile en cours de bétonnage ou pire, que le pont roulant cède lors des opérations précédant le bétonnage. Le treillis de stabilisation peut être remplacé par une finisseuse ayant un pont roulant d'une hauteur de 42 pouces (plutôt que 24 pouces) sur une certaine longueur de la partie centrale du pont roulant. À titre indicatif, cette longueur représente un peu plus de la moitié de la distance entre les rails de roulement.

Le pont roulant héberge plusieurs accessoires, notamment le dispositif de bombement, le tableau de commande et les rails du module mobile.

Le dispositif de bombement est localisé au point haut transversal entre deux sections du pont roulant. Pour un pont avec un dévers, il est localisé à mi-largeur du bétonnage, de manière à compenser la perte de cambrure du pont roulant. Le dispositif de bombement peut lever le pont roulant d'une hauteur maximale variant de 150 à 200 mm selon la finisseuse utilisée.

Pour des raisons de sécurité, le tableau de commande devrait être situé du même côté de la finisseuse que les vis sans fin du module mobile pour permettre à l'opérateur de voir ces vis en tout temps. Les rails du module mobile sont situés au bas du pont roulant et ils sont supportés par un grand nombre de tiges de support; celles-ci permettent également d'ajuster le niveau des rails lorsque la hauteur nécessaire pour établir le profil transversal excède celle autorisée par le dispositif de bombement.

Les pattes de levage, qui sont situées aux extrémités du pont roulant, permettent un ajustement en hauteur précis de ce dernier. La configuration des pattes assure la répartition du poids de la finisseuse sur plusieurs supports métalliques des coffrages en porte-à-faux. Les pattes de levage localisées à proximité du tableau de commande sont fixes par rapport au pont roulant, alors que celles situées à l'autre extrémité du pont roulant peuvent se déplacer latéralement. Ce déplacement latéral a pour but de compenser les imperfections de parallélisme des rails de roulement et, au besoin, de réaliser un bétonnage de largeur variable, la largeur additionnelle étant toutefois limitée à 3 m. Si la largeur additionnelle est supérieure à cette valeur, il faut prévoir des bétonnages successifs afin de permettre d'allonger la finisseuse entre chaque bétonnage.

Le module mobile est un chariot qui se déplace sur les rails du pont roulant; c'est la seule partie de la finisseuse qui entre en contact avec le béton. Le module mobile héberge dans l'ordre les accessoires suivants : les vis sans fin, la boîte vibrante, les rouleaux lisses et, sur certaines finisseuses, un contrepoids. Sur certaines finisseuses également, la boîte vibrante est située à l'avant du module mobile alors que les vis sans fin sont fixées aux rouleaux lisses.

Les vis sans fin permettent un premier nivellement du béton plastique; la boîte vibrante permet de finaliser la vibration du béton alors que les rouleaux lisses permettent son nivellement final. Le rouleau lisse situé du côté gauche de la finisseuse est ajustable en hauteur.

Les rouleaux lisses sont positionnés selon un angle d'environ 5° par rapport à la ligne de centre du pont pour que le béton devant les rouleaux ait tendance à se déplacer de l'arrière vers l'avant afin d'optimiser la qualité de la finition du béton. Pour tenir compte du mouvement de va-et-vient du module mobile entre les côtés du bétonnage, le positionnement des rouleaux est changé automatiquement à chaque arrêt-départ du module mobile près de chaque côté du bétonnage.

Dans le cas où les rails de roulement de la finisseuse sont localisés à l'arrière d'une glissière en béton, il faut allonger le support reliant le module mobile au pont roulant pour permettre à ce dernier de se déplacer au-dessus des aciers en attente de la glissière.

À noter qu'un grillage de protection autour du module mobile est exigé depuis plusieurs années par la CNESST; le surveillant doit donc s'assurer, lors de l'arrivée de la finisseuse sur le chantier, que ce grillage est en place afin d'éviter tout arrêt intempestif du bétonnage par la CNESST.

Il faut ajuster le déplacement du module mobile pour que celui-ci se rapproche le plus possible des côtés du bétonnage afin de réduire au minimum la partie de dalle à finir manuellement. S'il y a beaucoup de drains de tablier, il serait préférable de tenir compte de ceux-ci dans l'ajustement du module mobile. Si l'espacement entre les drains est important, il est par contre préférable de ne pas tenir compte des drains, puisque l'opérateur peut arrêter manuellement le module mobile vis-à-vis de ceux-ci en cours de bétonnage.

Matériel – règle vibrante

La marque de commerce de la règle vibrante apparaît dans le devis spécial. La règle vibrante Allen modèle Razorback SA12 (ou 12HD ancien modèle) y est spécifiée parce qu'elle est la plus lourde sur le marché, permettant ainsi une meilleure finition surtout pour des bétons à faible rapport eau/liant. La règle vibrante comprend deux parties principales : le treillis métallique et les pattes de levage.

Le treillis métallique a une forme triangulaire d'environ 450 mm de hauteur et il résulte du montage de sections de longueurs appropriées correspondant à la largeur du bétonnage à effectuer. La base du treillis est directement en contact avec le béton au

moyen d'une lame de nivellement située à l'avant et d'un aplanissoir situé à l'arrière. Des vibrateurs verticaux sont placés à l'avant et à l'arrière de la règle; ces vibrateurs sont actionnés au moyen d'air comprimé.

Les pattes de levage permettent un ajustement en hauteur précis de la règle; elles sont conçues pour enjamber au besoin les aciers en attente d'une glissière en béton. Un treuil manuel, qui est localisé sur les pattes de levage, permet de faire avancer la règle vibrante au moyen d'un crochet fixé aux barres d'armature.

La largeur additionnelle est limitée à 1 m lorsque la règle est utilisée pour un bétonnage de largeur variable. Si la largeur additionnelle est supérieure à cette valeur, il faut prévoir des bétonnages successifs afin de permettre l'allongement de la finisseuse entre chaque bétonnage.

Il faut ajuster la longueur de la règle vibrante pour que celle-ci se rapproche le plus possible des côtés extérieurs du bétonnage afin de réduire au minimum la partie de dalle à finir manuellement. S'il y a des drains de tablier, il est très important de diminuer la longueur de la règle en conséquence, puisqu'on ne doit pas soulever et déplacer la règle vibrante en cours de bétonnage, sinon elle serait fort probablement mal ajustée pour le reste de la finition de dalle

Matériel – Plates-formes de travail

Les caractéristiques des deux plates-formes de travail utilisées lors du bétonnage de dalles sont décrites dans le CCDG. Une des plates-formes est utilisée pour la finition manuelle du béton à l'arrière de l'équipement de finition alors que l'autre est employée pour l'humidification, la cure et la mise en place au besoin de la protection par temps froid. Ces plates-formes sont déplacées manuellement et circulent sur les mêmes rails que ceux utilisés par l'équipement de finition. Les pattes de levage des plates-formes sont similaires à celles de la règle vibrante.

Ces plates-formes de travail sont nécessaires pour qu'il n'y ait pas de circulation d'ouvriers dans le béton plastique à l'arrière de l'équipement de finition, ce qui aurait pour effet d'endommager les profils établis par ce dernier. Elles sont nécessaires en tout temps, quelle que soit la largeur à bétonner, car il arrive fréquemment que des petites zones de dalle doivent être finies au moyen d'une truelle manuelle avant de passer l'aplanissoir. Ce travail à la truelle est facilité lorsque les exigences de dégagement sous la plate-forme sont respectées.

Ajustement des coffrages de dalle

Les coffrages doivent être ajustés de façon à obtenir l'épaisseur de dalle et les profils transversal et longitudinal du dessus du béton spécifiés sur les plans. Les coffrages sur étaiement d'un portique doivent être construits en tenant compte de l'affaissement calculé de l'étaiement sous le poids du béton frais et de la perte de cambrure du tablier à la suite de l'enlèvement de l'étaiement. Par contre, dans le cas du béton précontraint en place, les coffrages sont construits en tenant compte seulement de l'affaissement calculé de l'étaiement sous le poids du béton frais; il ne faut pas tenir compte de la

perte de cambrure due au poids mort du béton, suite à l'enlèvement des étaiements, et du gain de cambrure dû à l'application de la précontrainte, car, à toutes fins pratiques, ils s'annulent.

Ajustement des coffrages sur poutres – goussets

Dans le cas d'une dalle sur poutres, l'entrepreneur doit prévoir des goussets au-dessus des poutres. Ces goussets, qui sont définis comme la surépaisseur de béton vis-à-vis des poutres, ont une hauteur variable, laquelle est normalement plus importante vis-à-vis des unités de fondation qu'au centre des travées. La figure 4.3-16 montre un gousset type. La hauteur des goussets de chaque poutre doit être évaluée par l'entrepreneur à chaque dixième de travée jusqu'à concurrence de 5 mètres de distance maximum.

Les goussets sont nécessaires compte tenu des imperfections de nivellement du dessus des poutres par rapport aux profils transversal et longitudinal du dessus de la dalle spécifiés sur les plans. Les goussets viennent corriger ces imperfections en ajoutant une épaisseur variable de béton entre le dessus des poutres et le dessous de la dalle de manière à respecter les profils. Puisque la surépaisseur de béton des goussets ne dépasse pas la largeur des poutres, l'augmentation de la charge morte est limitée surtout dans le cas des ponts avec poutres d'acier. En d'autres mots, la dalle a une épaisseur variable au-dessus des poutres alors que son épaisseur entre les poutres est égale à la valeur fixée sur les plans.

Les imperfections de nivellement du dessus des poutres peuvent venir d'une erreur de nivellement d'un bloc d'assise causée par une mauvaise lecture des plans ou par une erreur d'élévation d'un bloc d'assise; elles peuvent aussi découler de la courbure vers le haut, appelée cambrure, des poutres. Alors qu'une mauvaise élévation d'un bloc d'assise ne se produit qu'à l'occasion, la cambrure est présente sur toutes les poutres; de plus, la cambrure varie d'une poutre à l'autre surtout dans le cas de ponts avec poutres préfabriquées en béton précontraint.

Puisqu'il arrive souvent que la cambrure réelle des poutres soit un peu plus élevée que la perte de cambrure due à l'ajout des charges mortes et de service, la différence entre ces deux valeurs s'appelle « cambrure résiduelle ». La cambrure résiduelle d'une poutre préfabriquée en béton précontraint est généralement beaucoup plus grande que celle d'une poutre en acier. Dans le cas de la reconstruction d'une dalle sur poutres existantes, il peut arriver que la cambrure résiduelle soit négative (courbure concave). Ceci pourrait s'expliquer par une cambrure de fabrication insuffisante des poutres ou par des charges mortes augmentées (par exemple, la nouvelle dalle est plus épaisse que celle qui a été démolie). Ceci aurait pour effet d'obtenir un gousset plus épais au centre de la travée pour chaque poutre. Dans un tel cas, après la démolition de la dalle existante et le relevé d'arpentage du dessus des poutres existantes permettant d'établir l'épaisseur des futurs goussets, le surveillant devrait en aviser le concepteur pour que ce dernier vérifie la capacité des poutres avant de permettre à l'entrepreneur de couler la nouvelle dalle (plus de charges, goussets plus épais).

Les goussets ne doivent pas excéder la largeur de la poutre. Si c'était le cas, cette portion de béton non armée pourrait se détacher avec le temps et représenter un risque pour les usagers circulant sous le pont. De plus, les côtés des goussets doivent être verticaux pour ne pas nuire au bon fonctionnement des selles ajustables en hauteur.

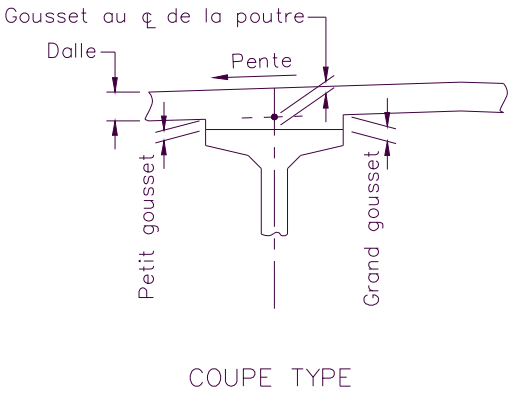


Figure 4.3-16 Gousset type

Ajustement des coffrages sur poutres – relevé d'arpentage

Le relevé d'arpentage du dessus des poutres, nécessaire pour le calcul de la hauteur des goussets, doit être fait après la mise en place des poutres et, pour un pont neuf, après le redressement latéral des poutres préfabriquées en béton précontraint; de plus, il doit être fait avant de mettre des charges importantes sur les poutres, par exemple un paquet de coffrages au centre d'une travée. Cette dernière précaution est importante pour éviter le fléchissement des poutres d'une travée simple ou le relèvement d'une travée adjacente dans le cas d'un pont à travées continues.

Il est recommandé de procéder au relevé lorsque les vents sont faibles. Il faut aussi veiller à ce que le relevé de l'ensemble des poutres soit effectué en même temps afin d'éliminer la possibilité d'erreurs entraînées par des conditions météorologiques différentes. Dans le cas d'une reconstruction de dalle réalisée en phases, il est aussi préférable de procéder au relevé en dehors des heures de pointe pour réduire au minimum les effets du trafic sur les mesures.

Dans le cas des poutres en béton précontraint préfabriqué, il est recommandé de faire un relevé d'arpentage selon 2 lignes longitudinales pour chaque poutre, chacune d'elle se situant près du bord de la semelle supérieure. En effet, cela est nécessaire compte tenu de la largeur importante de la semelle supérieure de ces poutres et des irrégularités du nivellement du béton lors de la fabrication. De plus, cette façon de faire va grandement faciliter le travail de positionnement des coffrages par les ouvriers chargés de leur mise en place.

Une bonne pratique consiste à marquer les points d'arpentage à la peinture rouge lors du relevé d'arpentage. Cette précaution permet une éventuelle vérification d'un point d'arpentage; elle facilite aussi le travail d'implantation des goussets par les ouvriers chargés du montage des coffrages surtout dans le cas où le dessus des poutres de béton est irrégulier. En effet, puisque la hauteur des goussets est calculée à partir des points d'arpentage, la réalisation des goussets doit aussi se faire à partir de ces points.

Dans le cas de la reconstruction d'une dalle sur des poutres existantes en béton, il peut être nécessaire d'adoucir un profil irrégulier au moyen de mortier avant de procéder au relevé. Une solution de remplacement à cette façon de faire consiste à se servir des étriers comme points d'arpentage pourvu qu'ils soient suffisamment rigides pour ne pas se déformer pendant les opérations précédant le bétonnage de la dalle. Il n'est pas recommandé de faire le relevé du dessous des poutres ou sur une arête de la semelle supérieure, car les points d'arpentage ne sont pas accessibles lors de la mise en place des coffrages.

Pour une dalle reconstruite sur des poutres existantes, l'entrepreneur doit faire le relevé d'arpentage, du dessus de chaque poutre affectée par la démolition de la dalle existante, au centre de chacune des travées, avant et après la démolition. La différence entre ces deux mesures est égale au gain de cambrure maximal de chacune des poutres permettant ainsi à l'entrepreneur d'établir la hauteur des goussets avant le bétonnage de la nouvelle dalle. Il est nécessaire d'enlever une petite partie de la dalle vis-à-vis du centre de chaque poutre pour réaliser le relevé d'arpentage avant la démolition complète de la dalle. Puisque le relevé d'arpentage doit être effectué exactement aux mêmes points avant et après la démolition complète de la dalle, il est recommandé d'installer des repères sûrs, tels que des clous à béton ou une courte tige en acier insérée dans un trou préalablement rempli de mortier, avant d'effectuer la première série de mesures.

Ajustement des coffrages sur poutres – calcul des goussets

Les goussets sont généralement montrés sur les plans, mais leur hauteur n'y apparaît pas. Le calcul de leur hauteur est effectué par l'entrepreneur à partir des caractéristiques du pont et du relevé d'arpentage du dessus des poutres. Le calcul des goussets peut être fait manuellement ou au moyen d'un chiffrier électronique; le chiffrier électronique étant insuffisant pour un pont en courbe, il est possible de procéder graphiquement au moyen d'un logiciel de dessin ou d'un logiciel de dimensionnement des chaussées.

La valeur de perte de cambrure d'un pont ou d'un tablier neuf, nécessaire pour le calcul des goussets, devrait apparaître sur les plans. Si ce n'est pas le cas, il faut en faire la demande au concepteur. La valeur de perte de cambrure est souvent considérée comme identique pour toutes les poutres même si en pratique elle peut varier légèrement d'une poutre à l'autre. Il peut tout de même arriver à l'occasion qu'il y ait une différence plus importante de perte de cambrure entre une poutre de rive et une poutre intérieure, et ce, par exemple dans le cas de porte-à-faux de dalle important.

Dans un tel cas, le concepteur en aura tenu compte dans les valeurs des pertes de cambrures indiquées aux plans.

Dans le cas de la reconstruction d'une dalle, il faut utiliser les valeurs de gain de cambrure mesurées lors du relevé d'arpentage réalisé avant et après l'enlèvement de la dalle comme indiqué au CCDG. Il faut cependant augmenter au besoin ces valeurs pour tenir compte de l'épaisseur de la nouvelle dalle qui pourrait être supérieure à celle de la dalle démolie.

Dans le cas de la reconstruction d'une dalle réalisée en phases, la valeur de gain de cambrure varie beaucoup d'une poutre à l'autre, étant donné la retenue exercée par les diaphragmes ou les contreventements empêchant la remontée complète des poutres à la suite de la démolition de la dalle existante. Cette remontée, ou ce gain de cambrure, est maximale pour la poutre de rive, minimale pour la poutre attenante à la partie de dalle demeurée en place (phase à démolir ou phase récente construite), et se situe entre ces deux valeurs pour les poutres intermédiaires.

Le profil longitudinal nécessaire pour le calcul des goussets est indiqué sur les plans, sauf dans le cas d'une reconstruction de dalle sur poutres existantes où il faut utiliser le profil établi par le surveillant. Dans ce dernier cas, le surveillant établit le profil à partir des valeurs des futures pertes de cambrure et du niveau du dessus des poutres mesurés lors du relevé d'arpentage. Contrairement au cas d'un pont neuf, le profil longitudinal de la dalle à reconstruire est établi après la démolition de la dalle existante parce que le surveillant doit tenir compte de la charge morte additionnelle que représente le béton des futurs goussets et du profil de la route située de part et d'autre du pont avant de finaliser le profil.

Pour ce faire, il se doit de consulter le concepteur afin d'obtenir le meilleur profil possible pour les usagers tout en respectant la capacité du système structural.

Par ailleurs, selon l'ampleur de la cambrure résiduelle de certaines poutres, le calcul des goussets pourrait démontrer des valeurs négatives pour quelques-uns d'entre eux. Puisque des goussets négatifs impliquent une réduction de l'épaisseur de la dalle au-dessus de la poutre, ceux-ci sont inacceptables au chapitre de la résistance au cisaillement de la dalle et de sa durabilité. Mentionnons par contre que des valeurs de gousset négatives, au droit des plaques de recouvrement des joints de chantier des poutres principales, sont acceptables en autant que ces valeurs n'excèdent pas l'épaisseur des plaques. Il faut donc relever le niveau du profil longitudinal d'une valeur équivalente au gousset le plus négatif de l'ensemble des poutres afin que ce dernier devienne nul. Si ce relèvement du profil longitudinal se rencontre sur les projets, alors il faut en faire mention au personnel chargé de la construction de la route afin qu'il en tienne compte au niveau du profil de la route située de part et d'autre du pont. Dans tous les cas, le surveillant doit consulter le concepteur lorsque la quantité de béton nécessaire à la réalisation de la dalle excède de plus de 10 % la quantité prévue sur les plans.

Le calcul des goussets doit être réalisé en une seule opération sur l'ensemble des travées du pont. Si cela n'est pas possible pour les ponts de plusieurs travées parce que les poutres ne sont pas encore en place sur une partie du pont, le calcul des goussets peut se faire sur une partie des travées à la condition que chaque longueur à bétonner n'inclue pas les deux dernières travées faisant partie du relevé d'arpentage. Ces deux travées servent de zone tampon entre deux bétonnages successifs. Cette zone est nécessaire au cas où une poutre, se trouvant sur une travée située au-delà de la zone tampon, aurait une cambrure plus importante que n'importe quelle poutre des travées précédentes. Si tel était le cas, il faudrait alors établir un nouveau profil longitudinal à partir du début de la zone tampon et recalculer les goussets de la zone tampon; il ne faut surtout pas réduire l'enrobage de béton au-dessus des armatures ou l'épaisseur de la dalle vis-à-vis de la poutre qui fait problème. Pour que ce mécanisme fonctionne adéquatement, il faut que le premier bétonnage se fasse à partir d'une culée et que les bétonnages suivants se fassent à partir de la fin du bétonnage précédent.

Le surveillant peut vérifier le calcul de l'entrepreneur, mais il ne doit jamais fournir à ce dernier les résultats de son calcul, car cela le placerait dans une position très inconfortable au cas où celui-ci serait erroné. Le surveillant peut cependant faire part à l'entrepreneur de ses doutes quant à l'exactitude de son calcul. Si l'entrepreneur persiste à utiliser un calcul erroné, il sera impossible de terminer avec succès le passage à vide, ce qui entraînera par le fait même une importante perte de temps.

Ajustement des coffrages sur poutres – mise en place des coffrages

La mise en place des coffrages doit se faire en tenant compte de la hauteur des goussets calculés à chaque dixième de travée jusqu'à concurrence de 5 mètres de distance maximum et ce pour chacune des poutres. Pour s'assurer de l'utilité des hauteurs calculées, l'entrepreneur doit implanter celles-ci à partir des points du relevé d'arpentage, surtout pour les poutres au-dessus irrégulier. Le surveillant se doit de vérifier la hauteur des goussets à la suite de la mise en place des coffrages.

Dans le cas d'un projet de construction d'un nouveau pont ou d'un tablier réalisé en phases, les coffrages doivent prendre appui uniquement sur la partie de dalle à bétonner correspondant à la phase de travaux en cours. Cette exigence s'impose afin d'éviter une déformation du coffrage et surtout un profil longitudinal inadéquat de la dalle à proximité d'une autre phase de travaux. En effet, le profil longitudinal de la dalle est affecté par la perte de cambrure du système structural, et cela est tenu en compte lors du calcul du niveau des coffrages. Si le coffrage prend entièrement appui sur le système structural de la phase de travaux en cours, celui-ci va fléchir exactement de la même façon que le système structural et la dalle va donc avoir le profil désiré. Par contre, si l'extrémité du coffrage attenant à une autre phase de travaux prend appui sur l'ancien pont ou sur la dalle d'une phase de travaux déjà réalisée, le profil de la dalle à cet endroit va être faussé, puisque le rail ne fléchira pas lors du bétonnage.

Les coffrages verticaux des extrémités du pont et des joints de construction transversaux ne doivent pas empêcher le passage de l'équipement de finition. Pour ce faire, une distance minimale de 25 mm devrait être conservée entre le dessus des

coffrages et le dessus prévu de la dalle. La distance de 25 mm est recommandée, car si celle-ci est trop faible, un granulat du béton pourrait s'y coincer et endommager les coffrages. Cette pratique devrait aussi être utilisée pour un joint de construction longitudinal, car cela élimine les besoins de finition manuelle près du joint; cela est possible pourvu que l'espace nécessaire soit disponible, ce qui est rarement le cas lors de la reconstruction d'une dalle sur des poutres existantes. Mentionnons que les coffrages sont rehaussés après le passage de l'équipement de finition.

Dans le cas d'un pont constitué de poutres en béton, les coffrages des diaphragmes ne doivent pas être fixés à celui de la dalle afin de permettre au besoin le déplacement vertical du coffrage de la dalle lors du passage à vide.

Dans le cas d'un pont à plus d'une travée, les coffrages nécessaires à la réalisation des joints de construction apparaissant à la séquence de bétonnage aux plans doivent être réalisés. Lorsqu'une nouvelle séquence de bétonnage (proposée par l'entrepreneur) approuvée par le surveillant (après consultation du concepteur) est prévue et lorsque ce dernier a des doutes sur la capacité de l'entrepreneur à respecter le nouveau taux de pose minimal de béton, il serait prudent d'exiger la mise en place des coffrages du premier joint de construction; celui-ci est démantelé lors du bétonnage si l'entrepreneur fait la preuve avant d'y parvenir qu'il est en mesure de respecter le taux de pose promis, sinon le bétonnage est arrêté à ce joint de construction.

Dans le cas d'un pont avec biais, les joints de construction devraient être réalisés selon le biais afin de s'assurer que les poutres sont chargées de façon uniforme.

La pente transversale des coffrages avant bétonnage est égale à celle indiquée sur les plans, sauf dans le cas d'une reconstruction de dalle réalisée en phases ou d'un pont avec biais. Dans le premier cas, la différence de perte de cambrure entre deux poutres adjacentes explique l'écart entre la pente transversale des coffrages avant bétonnage et celle indiquée sur les plans. Cette différence de perte de cambrure est due à la présence des diaphragmes ou des contreventements qui empêchent la remontée complète des poutres à la suite de l'enlèvement de la dalle réalisé en phases (la poutre de rive remonte beaucoup plus que la poutre attenante à la partie de dalle encore en place). Mentionnons que la différence de perte de cambrure entre deux poutres adjacentes est nulle vis-à-vis des unités de fondation et elle est maximale au centre des travées.

Dans le cas d'un pont avec biais (pont neuf, tablier neuf ou reconstruction de dalle avec ou sans phase), pour un chaînage donné, la perte de cambrure des poutres est différente (car pour chacune d'elle, nous ne sommes pas au même point relatif de la portée) d'où une pente transversale des coffrages avant bétonnage différente de part et d'autre de chacune des poutres.

Dans les deux cas, il faut donc tenir compte de la valeur de perte de cambrure mesurée pour chacune des poutres lors du relevé d'arpentage. Bien que le surveillant n'ait pas à se préoccuper de la pente des coffrages avant bétonnage puisque le passage à vide va automatiquement en tenir compte, il peut tout de même la vérifier, mais il doit

considérer la différence de perte de cambrure entre les poutres. Mentionnons qu'une fois le bétonnage terminé, la pente des coffrages sera égale à celle indiquée sur les plans.

Mise en place des armatures – informations additionnelles pour les dalles

Dans le cas d'une dalle construite sur des poutres en béton, l'armature des poutres ne doit pas être fixée à celle des diaphragmes afin de permettre le déplacement vertical des coffrages au moyen des selles ajustables en hauteur.

L'armature de la dalle ne doit pas non plus être fixée, ni prendre appui sur les étriers des poutres en béton ou les goujons des poutres en acier, afin qu'elle puisse se déplacer lors de l'ajustement en hauteur des coffrages. Pour les mêmes raisons, il faut éviter de mettre des cales de support de l'armature au-dessus des poutres.

À la suite du calcul des goussets et de la mise en place des coffrages, l'entrepreneur doit ajouter de l'armature supplémentaire au droit des poutres lorsque la valeur des goussets entraîne une diminution inacceptable de l'effet composite assuré par les goujons ou les étriers des poutres; les exigences du CCDG définissent les circonstances où cette mesure doit être appliquée. Cette armature comprend deux barres 15M longitudinales et des étriers ayant la forme d'un chapeau inversé. La quantité d'étriers à ajouter doit correspondre à celle spécifiée sur les plans et devis s'il y a lieu. S'iln'y a aucune indication sur les plans, la quantité sera déterminée par le concepteur. Celui-ci déterminera la quantité nécessaire en fonction des efforts dans la poutre; la quantité de barres d'armature ajoutées ne sera cependant pas plus grande que la section équivalente à celle des goujons ou des étriers des poutres (sans égard à la limite élastique de ces aciers).

La mise en place verticale de ces étriers peut être difficile compte tenu de la hauteur variable des goussets le long des poutres; en effet, pour toujours poser les étriers à la verticale exigerait toute une série d'étriers de hauteur variable. Pour faciliter les choses, les étriers peuvent être posés à angle par rapport à la verticale en autant que cet angle ne soit pas excessif, soit au plus 30°. Il faut s'assurer que l'enrobage des étriers soit conforme aux exigences et, pour ce faire, des cales continues en plastique doivent être déposées sur le dessus des poutres de façon à avoir une épaisseur de béton d'au moins 25 mm entre les étriers et le dessus de la poutre. Notons que dans ce cas-ci, il est permis de placer des cales de support au-dessus des poutres puisqu'au moment de l'ajout de ces barres supplémentaires, l'ajustement des goussets est déjà effectué.

L'entrepreneur doit toujours être attentif au niveau du dessus de la nappe d'armature supérieure. En effet, la mesure de l'épaisseur de la dalle au moyen d'un ressort fixé sur le gabarit lors du passage à vide exige que la distance entre cette nappe d'armature et les coffrages soit égale à l'épaisseur de la dalle, diminuée de l'enrobage de béton au-dessus de la nappe d'armature.

Le surveillant doit donc veiller à ce que le responsable de la mise en place des armatures prenne les mesures nécessaires pour les positionner adéquatement. Pour ce faire, une façon simple et rapide de vérifier le positionnement de l'armature consiste à utiliser un bâton auquel on a enfoncé un clou; pour une dalle de 200 mm d'épaisseur, ce clou est positionné à 140 mm du bas du bâton. Il suffit ensuite de placer le clou sur les armatures avec le bâton en position verticale; si le bâton ne touche pas au coffrage, l'armature est trop haute.

La principale cause de ce défaut vient de cales trop hautes comme cela peut se produire lors du changement de diamètre d'une barre sans qu'on pense à modifier la hauteur des cales. Une autre cause de défaut est liée au fait que l'armature peut prendre accidentellement appui sur les étriers ou les goujons des poutres; il suffit alors de déplacer les barres à côté de ces éléments.

Il peut arriver que le clou ne touche pas à l'armature, cela ne veut pas dire que l'armature est trop basse, car les exigences des plans quant à la hauteur des cales individuelles en plastique disponibles sur le marché font souvent en sorte que l'enrobage de béton au-dessus des armatures est plus grand que 60 mm. Par contre, l'armature ne devrait pas se situer plus de 5 mm sous son niveau théorique, soit un enrobage de 65 mm, afin de ne pas réduire la capacité structurale de la dalle.

Dans le cas d'un pont existant à poutres préfabriquées en béton précontraint ayant un biais important, il est possible que la nappe d'armature inférieure vienne en conflit avec les étriers situés aux extrémités des poutres. Le surveillant se doit de consulter le concepteur avant d'autoriser l'entrepreneur à couper ces étriers.

Lorsque des drains de tablier sont prévus sur un pont, l'entrepreneur ne doit pas couper les armatures de la dalle qui entrent en conflit avec les drains. Les barres d'armature devraient plutôt contourner les drains afin de conserver la capacité structurale de la partie en porte-à-faux de la dalle. Les barres contournées devraient être positionnées de manière à répartir également leur déplacement de part et d'autre des drains.

<u>Mise en place des armatures – informations additionnelles pour les armatures des chasse-roues et glissières</u>

Dans le cas des chasse-roues et des glissières, il est important de mentionner certaines précautions à prendre afin que les armatures puissent se poser facilement au droit des poteaux en acier des dispositifs de retenue. Mentionnons que la longueur des barres longitudinales est limitée à 6 m aux plans afin de faciliter leur pose au droit de ces poteaux.

Mentionnons également qu'il est exigé aux plans de doubler l'armature verticale aux discontinuités de la glissière afin de tenir compte de la concentration des efforts dans ces zones.

De plus, afin de faciliter la pose des armatures longitudinales dans la partie supérieure de la glissière de type 311B en raison de la présence des tiges d'ancrage, il est indiqué aux plans d'installer les tiges d'ancrage avant ces armatures. Ces dernières s'installent plus facilement si le coffrage adjacent à la circulation est mis en place qu'après leur installation.

Dans le cas de la glissière 210B ou 210C, il est recommandé d'installer l'étrier entre les tiges d'ancrage du système à cinq tiges en raison du faible espacement de 220 mm des étriers des chasse-roues; cet étrier est installé avant la pose du gabarit en bois et des barres longitudinales puisqu'il est pratiquement impossible de faire autrement. La partie inférieure des tiges d'ancrage est maintenue à l'aide de la plaque d'ancrage, ou d'un dispositif en forme de X selon le cas, alors que sa partie supérieure doit être maintenue en bonne position à l'aide d'un gabarit en bois fixé au coffrage et ayant les dimensions de la plaque d'ancrage des poteaux en acier. Ce gabarit devrait avoir une ouverture en son centre afin de faciliter la mise en place du béton. Le gabarit doit être soigneusement positionné afin de respecter l'élévation de chacun des poteaux. Il doit de plus être posé selon l'horizontale dans le sens transversal de la structure et selon la pente locale du profil longitudinal; il faut vérifier que les tiges d'ancrages sont installées perpendiculairement au gabarit.

Lors du passage à vide, après le passage de l'équipement de finition, l'entrepreneur devra marquer au crayon feutre les barres d'armature verticales des chasse-roues ou des glissières à une élévation qui correspond à celle du fond des coffrages de la dalle, auquel la valeur de l'épaisseur de la dalle et de la déflexion du porte-à-faux calculée sous le poids du béton doit être ajoutée. Une barre sur quatre doit être marquée, de manière à pouvoir indiquer aux finisseurs (ouvriers) le niveau à finir manuellement du béton dans cette zone. Ces marques serviront aux ouvriers effectuant la finition manuelle près des chasse-roues ou des glissières. Le marquage ne doit pas être effectué alors que la finisseuse est située sur le porte-à-faux pour éviter de fausser celui-ci avec le poids de la finisseuse. Cette exigence du devis spécial est importante car la finition manuelle est souvent source de défaut de rectitude dans les dalles. La zone des abords des chasse-roues et glissières est également très importante pour assurer un bon drainage de l'eau puisque les pentes transversales de la dalle amènent l'eau à cet endroit et tout défaut dans la pente longitudinale risque de créer des accumulations d'eau qui seront nuisibles à la durabilité de la dalle.

Le surveillant doit, immédiatement avant le bétonnage du chasse-roue ou de la glissière, vérifier l'élévation et les pentes transversale et longitudinale du gabarit de chaque poteau en acier. La vérification de l'élévation du dessous des gabarits doit se faire au moyen d'un niveau d'arpentage. Il doit aussi s'assurer que l'espacement entre chaque gabarit est conforme aux plans d'atelier. De plus, la longueur hors béton des tiges d'ancrage doit être vérifiée vis-à-vis de chaque poteau afin qu'elle soit suffisante pour la mise en place des écrous. Cette longueur ne doit pas être inférieure à celle indiquée aux plans de façon à ce que les tiges excèdent d'au moins 3 mm le dessus des écrous. Finalement, il doit aussi vérifier que les tiges d'ancrage sont installées perpendiculairement à chacun des gabarits.

Afin de protéger les filets des tiges d'ancrage contre les éclaboussures de béton pendant le bétonnage, les extrémités supérieures de ces dernières doivent être munies de ruban adhésif.

Mise en place des armatures – informations additionnelles pour les joints de tablier à plus d'une garniture

Dans le cas des joints de tablier à plus d'une garniture, il est très important de mentionner certaines précautions à prendre afin que les armatures puissent se poser au droit des boîtes des barres de support. En effet, il peut arriver que le concepteur ne se soit pas rendu compte du conflit entre les armatures des culées (ou de la dalle) et ces boîtes.

Si c'est le cas, il faut immédiatement aviser l'entrepreneur de suspendre la fabrication des armatures le temps que le concepteur prépare des plans révisés. Si le surveillant avise tôt l'entrepreneur du conflit armatures-joint, il devrait être en mesure de limiter les problèmes (financiers, délais, structuraux) au minimum. Le surveillant ne doit surtout pas accepter de déplacer, de couper ou pire d'éliminer des barres sans que le concepteur n'y consente.

Ajustement des rails de roulement

L'ajustement des rails de roulement est le passage obligé pour obtenir le profil longitudinal spécifié sur les plans. En effet, le profil longitudinal de la dalle dépend uniquement de celui des rails de roulement.

Ajustement des rails de roulement – calcul du profil des rails

Le profil des rails est égal au profil longitudinal du dessus du béton de la dalle spécifié sur les plans, ou établi par le surveillant pour une reconstruction de dalle sur poutres, auquel il faut ajouter la perte des cambrures des poutres. Dans le cas d'un pont construit sur étaiement, la perte de cambrure est remplacée par l'affaissement calculé de l'étaiement; dans le cas d'un portique, il faut aussi considérer la perte de cambrure calculée de celui-ci à la suite de l'enlèvement de l'étaiement.

La hauteur des rails n'a pas d'importance dans l'établissement du profil longitudinal de la dalle, car seul le profil des rails compte; la hauteur de chacun des rails est ainsi laissée à la discrétion de l'entrepreneur. Le profil n'a donc pas besoin d'être référencé par rapport au système géodésique et il est d'usage d'assigner l'élévation 0,000 au point le plus bas du profil afin de faciliter l'interprétation des lectures de nivellement en chantier.

Le calcul du profil des rails devrait être réalisé en une seule opération sur l'ensemble des travées du pont. Il faut aussi calculer le profil des rails situés sur les approches du pont.

Bien que la responsabilité première du calcul du profil des rails revienne à l'entrepreneur, le surveillant se doit aussi de faire ce calcul, car c'est lui qui, ultimement, a la tâche de valider le profil des rails implantés par l'entrepreneur. Contrairement au calcul de la hauteur des goussets où le passage à vide permet de déceler un calcul erroné, il n'y aucun moyen de repérer une erreur dans le calcul du profil des rails autrement que par la vérification du profil établi par l'entrepreneur. Les profils calculés par l'entrepreneur et le surveillant doivent être identiques. Si ce n'est pas le cas, il faut trouver les raisons des différences avant de procéder à la mise en place des rails.

Le profil longitudinal du dessus du béton de la dalle est le même pour les deux rails, sauf pour un pont avec une transition de bombement-dévers, un dévers variable, un pont de largeur variable ainsi qu'un pont ayant un profil longitudinal convexe et un biais. Pour ces ponts, il faut tenir compte du profil longitudinal du dessus du béton de la dalle correspondant à l'emplacement de chacun des rails. Le profil des côtés extérieurs du dessus de la dalle et au besoin celui de la ligne longitudinale séparant deux phases de travaux sont normalement indiqués sur les plans; ces profils peuvent être utilisés pour le calcul du profil des rails. Si les profils ne sont pas indiqués sur les plans, il faut en faire la demande au concepteur. Dans le cas d'une reconstruction de dalle sur poutres existantes, ces profils sont fournis par le surveillant comme cela est expliqué lors du calcul des goussets.

La perte de cambrure à considérer dans le calcul du profil des rails est celle de la poutre qui soutient chacun de ceux-ci. Il faut utiliser les mêmes valeurs de perte de cambrure que celles servant au calcul des goussets de cette poutre.

Dans le cas d'une reconstruction de dalle réalisée en phases, le profil du rail attenant à une phase de travaux déjà réalisée n'est pas calculé; le rail est tout simplement déposé sur la dalle déjà bétonnée en veillant à ce que le rail soit parallèle à la dalle. Cette façon de faire est nécessaire pour assurer le parfait nivellement du béton du dessus de la dalle des deux phases des travaux.

<u>Ajustement des rails de roulement – mise en place des rails</u>

Les rails doivent être déposés sur leurs supports autant sur le pont que sur ses approches. Pour un pont de plusieurs travées où une partie seulement de la dalle est bétonnée, les rails doivent être mis en place sur la partie de dalle à bétonner et sur la zone tampon indiquée lors du calcul des goussets. Rappelons que l'entrepreneur se doit de mettre en place les coffrages et l'armature vis-à-vis de la zone tampon au même titre que sur la partie à bétonner afin que le passage à vide se fasse aussi vis-à-vis de cette zone.

Le profil des rails n'est pas nécessairement identique à celui des coffrages parce que le nivellement de ces derniers est souvent l'objet d'imperfections dues à la réalisation des différentes étapes menant au calcul de la hauteur des goussets et à la mise en place des coffrages eux-mêmes. Bien qu'il arrive souvent cependant que des erreurs se produisent dans le nivellement des coffrages, il est de bonne pratique de faire la mise

en préliminaire doit être suivi par l'ajustement final du profil des rails au moyen d'un niveau d'arpentage à chaque dixième de travée jusqu'à concurrence de 5 m d'espacement maximum.

Dans le cas moins fréquent où le devis spécial spécifie que le rail situé du côté extérieur d'un pont doit être localisé au-dessus de la poutre de rive, et ce, même si celle-ci est placée sous la voie carrossable, le surveillant doit s'assurer que la distance libre entre le dessous du rail et le dessus prévu de la dalle est suffisante pour permettre la finition manuelle du béton directement sous le rail; une distance de 25 mm devrait suffire dans la plupart des cas.

L'entrepreneur doit bien caler les supports des rails avant de procéder à leur ajustement final, une bonne façon de procéder consiste à faire circuler l'équipement de finition à quelques reprises sur les rails avant leur ajustement. L'entrepreneur doit ensuite s'assurer que le rail est bien appuyé sur chacun de ses supports lors de son ajustement final vis-à-vis de chacun de ceux-ci. Cet ajustement est fait au moyen d'un niveau d'arpentage pour les supports situés à chaque dixième de travée (ou à 5 mètres d'espacement maximum) et ensuite au moyen d'une corde pour les supports intermédiaires. Pour ce faire, il s'agit de s'assurer que les portions de rail situées entre les supports localisés à chaque dixième de travée (ou à 5 mètres d'espacement maximum) sont parallèles à la corde tendue entre ces supports.

Une fois que l'entrepreneur a terminé l'ajustement final des rails, le surveillant doit en vérifier l'exactitude au moyen d'un niveau d'arpentage. Il doit immédiatement indiquer à l'entrepreneur tout écart par rapport au profil des rails calculé. Après correction des rails par l'entrepreneur, le surveillant procède à une dernière vérification du profil des rails en place. En cas de difficultés à réaliser l'ajustement final des rails à la satisfaction du surveillant, il peut être judicieux de procéder à un ajustement commun des supports en litige au moyen du même niveau d'arpentage. Cette façon de faire permet de compléter rapidement l'ajustement final des rails en accord avec le profil calculé. Le surveillant doit par la suite vérifier le nivellement des supports intermédiaires.

Bien qu'il soit possible d'effectuer l'ajustement final des rails lorsque l'équipement de finition est sur les rails, il faut tout de même s'assurer que celui-ci est situé à bonne distance de la portion de rail en cours d'ajustement. Une bonne pratique consiste à localiser l'équipement à l'une des extrémités du bétonnage à réaliser pendant que s'effectue l'ajustement final à l'autre extrémité.

Une fois l'exactitude du profil des rails établie par le surveillant, il est recommandé d'aligner chacun des rails à l'œil pour s'assurer que le profil est uniforme et sans discontinuités apparentes entre les unités de fondation.

Corde de référence

La mise en place d'une corde de référence est nécessaire pour implanter le profil transversal prévu sur les plans, puisque celle-ci sert de guide pour ajuster l'équipement de finition. La mise en place d'une seule corde suffit quelle que soit la longueur du bétonnage à effectuer.

Lorsqu'au moins un des rails de roulement de la finisseuse est localisé sur un coffrage en porte-à-faux, il faut mettre en place la corde de référence le plus près possible de la finisseuse pour tenir compte de la déflexion du coffrage sous le poids de la finisseuse; cette façon de faire permet d'éviter de hausser celui-ci une fois son ajustement terminé. Si l'entrepreneur préfère tout de même procéder à la mise en place de la corde de référence en l'absence de la finisseuse, il faut hausser uniformément les quatre pattes de levage d'une valeur correspondant à celle de la déflexion du coffrage sous le poids de la finisseuse mesurée par arpentage. Il n'est pas nécessaire de mettre en place la corde de référence à proximité immédiate d'une règle vibrante compte tenu de son poids peu important.

La finisseuse automotrice doit être localisée à une distance d'au moins 4 m des culées afin que son poids repose entièrement sur les supports métalliques du coffrage en porte-à-faux. Dans le cas d'une dalle de plusieurs travées reconstruite en phases, il est recommandé de positionner la finisseuse au droit d'une pile afin d'éviter de tenir compte de la perte de cambrure variable des poutres mesurée lors du relevé d'arpentage; cette façon de faire est possible pourvu que le pont n'ait pas de biais.

La corde est installée sur des blocs de bois fixés adéquatement sur le coffrage de la dalle. La corde doit être bien tendue pour qu'elle soit bien droite entre les blocs. La hauteur de ces derniers est égale à la hauteur de la dalle spécifiée sur les plans. Il faut positionner les blocs sur une ligne perpendiculaire à la ligne de centre pour permettre l'ajustement plus facile de l'équipement de finition. Un bloc est prévu tout près de chacun des rails de roulement de l'équipement de finition et un troisième, s'il y a lieu, est prévu au changement de pente transversale.

L'entrepreneur doit ensuite ajuster la pente transversale de la corde au moyen d'un niveau d'arpentage selon la pente prévue sur les plans; une bonne pratique consiste à relever au besoin l'une des extrémités de la corde à l'aide d'un clou fixé à l'un des blocs. Si la pente transversale varie, comme dans le cas d'un pont avec un dévers variable, il faut considérer la pente exacte prévue au chaînage où la corde est installée. Dans le cas d'une dalle de plusieurs travées reconstruite en phases, si la finisseuse n'est pas localisée au droit d'une pile, il faut tenir compte de la perte de cambrure variable des poutres situées sous les blocs. La pente de la corde est alors égale à la pente indiquée sur les plans moins celle due à la différence de perte de cambrure des poutres localisées sous chacun des blocs.

Une fois la corde mise en place et ajustée adéquatement, il faut aviser de sa présence le personnel circulant à proximité; bien qu'une corde de couleur vive permette de mieux la voir, des avertissements répétés sont le meilleur gage pour éviter de l'endommager. Si une personne entre malgré tout en contact avec la corde au point de l'étirer ou de déstabiliser ses points d'appui, il faut remettre la corde en place et vérifier à nouveau sa pente au moyen d'un niveau d'arpentage.

Ajustement de l'équipement de finition – règle vibrante

Après avoir localisé successivement l'avant et l'arrière de la règle vibrante tout près de la corde de référence mise en place adéquatement, l'entrepreneur doit s'assurer que le profil du dessous de la règle est ajusté parfaitement selon le profil de la corde avec une tolérance de 1 ou 2 mm. Une fois les ajustements terminés, le surveillant doit vérifier la conformité des profils avant et arrière du dessous de la règle.

Si le passage à vide n'est pas réalisé dès la fin de l'ajustement de la règle, il est recommandé à l'entrepreneur et au surveillant de prendre en note la hauteur des deux extrémités de la règle vibrante afin que l'on puisse s'assurer juste avant le passage à vide que personne n'a modifié la hauteur de la règle entre-temps; sans cette précaution, une erreur du profil transversal est toujours possible. Une façon simple de mesurer la hauteur de la règle consiste à utiliser un niveau de menuisier. Le niveau est déposé horizontalement sur le rail de roulement bien calé sur ses supports et il s'agit de mesurer la hauteur entre le niveau et le dessous de la règle à une distance horizontale déterminée du rail.

Ajustement de l'équipement de finition – finisseuse à béton automotrice

Avant de procéder à l'ajustement de la finisseuse, il faut avoir l'assurance que celle-ci est déposée sur ses rails de façon à ce que les vis sans fin du module mobile soient orientées vers le point haut du profil longitudinal afin que le bétonnage puisse s'effectuer à partir du point bas de ce profil. Cette précaution est nécessaire pour éviter d'avoir à soulever la finisseuse de ses rails une fois son ajustement achevé sous peine de refaire l'ajustement. Par contre, lorsque la finisseuse doit être soulevée de ses rails, comme dans le cas de bétonnages successifs nécessitant l'allongement de la finisseuse à la suite de chacun des bétonnages, il faut en refaire l'ajustement avant chaque bétonnage.

Il faut également, avant d'entreprendre l'ajustement de la finisseuse, déposer sur le pont roulant tous les équipements qui y seront nécessaires lors du bétonnage, notamment une génératrice et un dispositif d'éclairage lorsque le bétonnage est prévu en soirée ou de nuit. Puisque certains modules mobiles ont un contrepoids, ce dernier doit également être en place avant de commencer l'ajustement. Une fois l'ajustement de la finisseuse terminée, aucune charge ne doit y être ajoutée, car cela aurait pour effet de déformer le pont roulant de la finisseuse rendant l'ajustement caduc.

Le temps nécessaire pour l'ajustement complet de la finisseuse est de l'ordre de 90 à 120 minutes.

Une fois l'ajustement de la finisseuse finalisée par l'entrepreneur, le rôle du surveillant consiste essentiellement à vérifier que le dessous des rouleaux lisses fait tout juste contact avec la corde de référence, et ce, sur toute la longueur de cette dernière. Pour y arriver, il s'agit de faire déplacer les rouleaux lisses sur toute la longueur de la corde de référence tant à l'avant qu'à l'arrière des rouleaux; une tolérance de 1 ou 2 mm est jugée acceptable. Le surveillant doit être vigilant afin de bien distinguer l'affleurement des rouleaux au-dessus de la corde d'avec un contact non conforme qui force la corde à se déplacer vers le bas. Une bonne pratique consiste à laisser un espace libre minimal (1 ou 2 mm) entre le dessous des rouleaux et la corde.

Le surveillant doit aussi voir à ce que l'ajustement des vis sans fin et de la boîte vibrante soit fait de façon adéquate pour permettre le fonctionnement optimal de ces accessoires. Il s'agit de s'assurer que l'avant et l'arrière de ces dispositifs sont positionnés à une hauteur constante au-dessus de la corde de référence. La distance entre le dessous des dispositifs et la corde est laissée à la discrétion de l'entrepreneur; notons tout de même qu'une distance de 10 mm est fréquente.

Si le passage à vide n'est pas réalisé dès la fin de l'ajustement de la finisseuse, il est recommandé à l'entrepreneur et au surveillant de prendre en note la hauteur des quatre pattes de levage afin que l'on puisse s'assurer juste avant le passage à vide que personne n'a modifié la hauteur des pattes entre-temps; sans cette précaution, une erreur du profil transversal est toujours possible. Une façon sûre de mesurer la hauteur de chacune des pattes consiste à prendre la mesure de la hauteur de la partie extérieure du cylindre de la patte par rapport à la plaque d'acier recouvrant les roues de la finisseuse.

Étapes d'ajustement

Bien que l'ajustement de la finisseuse relève de l'entrepreneur, les étapes sont tout de même détaillées ci-après. Le surveillant n'a pas nécessairement besoin de connaître parfaitement tous ces détails, mais il peut s'y référer au besoin.

Les étapes nécessaires à l'ajustement de la finisseuse automotrice sont :

- l'ajustement des rails du module mobile;
- l'ajustement des rouleaux lisses;
- l'ajustement du pont roulant.

L'ajustement des rails du module mobile consiste à mettre les rails bien droits d'un bout à l'autre de la largeur à bétonner. Il faut d'abord s'assurer que le dispositif de bombement est ajusté au plus bas, c'est-à-dire sans bombement, et que le module mobile est déplacé vers l'une des extrémités du pont roulant afin qu'il ne nuise pas aux opérations. Il faut ensuite placer une corde bien tendue sous chacun des deux rails du module mobile et ajuster une à une les vis d'ajustement, de manière à ce que les rails soient parallèles à chacune des cordes. Il ne faut pas confondre ces cordes avec la corde de référence mise en place pour ajuster la finisseuse selon le profil transversal.

Pour une largeur de bétonnage très importante, il est possible que l'utilisation seule du dispositif de bombement soit insuffisante pour obtenir la hauteur requise du bombement; il faut alors ajuster les rails du module mobile avec une pente suffisante à partir du point haut transversal pour obtenir la hauteur manquante de bombement. Cette pente doit être inférieure à celle du profil transversal de la dalle afin d'être en mesure d'utiliser le dispositif de bombement pour finaliser les ajustements. Comme dans le cas d'un bétonnage de largeur moindre, il faut s'assurer que la section de rails entre le point haut transversal et chacun des rails de roulement est bien droite.

Le module mobile se déplace sur ses rails au moyen de roues métalliques. Des roues d'alignement en caoutchouc sont localisées sous les rails, vis-à-vis des roues métalliques, afin d'éviter que le module mobile s'écarte du profil établi en se soulevant au-dessus d'un béton moins malléable. Ces roues de caoutchouc doivent être enlevées temporairement pour permettre le passage des cordes servant à l'ajustement des rails du module mobile.

L'ajustement des rouleaux lisses, qui ne prend que quelques minutes, consiste à rendre le profil transversal du dessous des rouleaux lisses parallèle à celui des rails du module mobile. Pour ce faire, il faut d'abord localiser le module mobile près du point haut transversal ou, pour un pont avec dévers, à mi-distance des deux rails de roulement de la finisseuse, et positionner les rouleaux lisses de façon à ce qu'ils soient perpendiculaires au pont roulant. Il faut ensuite déposer sur les rails du module mobile, de part et d'autre de ce dernier, deux règles bien droites et une troisième règle, perpendiculairement aux deux premières, sur le dessus des rouleaux lisses.

La mesure simultanée de la distance entre les règles du haut et celle du bas est faite et l'ajustement en hauteur du rouleau gauche par une troisième personne est effectué si les deux mesures ne sont pas identiques. Le rouleau gauche est ajusté en hauteur de manière à ce que les deux mesures soient identiques. Cette procédure est effectuée pour l'avant et pour l'arrière des rouleaux et elle est répétée jusqu'à ce que l'ajustement soit adéquat. Il n'est cependant pas nécessaire que les mesures de l'avant des rouleaux soient identiques à celles de l'arrière des rouleaux.

L'ajustement du pont roulant consiste à ajuster les rouleaux lisses sur la corde de référence afin de s'assurer du respect du profil transversal de la dalle.

L'ajustement du pont roulant se divise en deux parties : l'ajustement préliminaire et l'ajustement final; cela consiste à positionner en hauteur le dessous des rouleaux lisses pour qu'ils fassent tout juste contact avec la corde de référence. L'ajustement préliminaire n'est pas obligatoire, mais il permet de compléter l'ajustement final plus rapidement. L'ajustement du pont roulant est fait en levant ou en baissant le niveau des rouleaux au moyen de la patte de levage située le plus près de l'extrémité des rouleaux à positionner.

L'ajustement préliminaire consiste à positionner l'avant et l'arrière des rouleaux lisses sur la corde lorsque le module mobile est situé près d'une des deux extrémités du pont roulant, puis près de l'autre extrémité et finalement près du dispositif de bombement si le profil transversal présente un point haut.

L'ajustement final du pont roulant consiste à positionner l'avant des rouleaux lisses sur la corde lorsque le module mobile est situé près d'une des deux extrémités du pont roulant, puis près de l'autre extrémité et finalement près du dispositif de bombement si le profil transversal présente un point haut. L'ajustement de la partie arrière des rouleaux est ensuite effectué de la même manière. Il faut répéter cette procédure jusqu'à ce que le dessous des rouleaux lisses fasse tout juste contact en tout point avec la corde de référence tant à l'avant qu'à l'arrière des rouleaux. Si les rouleaux lisses ne font pas contact avec la corde entre les blocs de bois qui la supportent, le problème peut venir d'un manque de tension dans la corde.

Lorsque le dessous des rouleaux lisses fait tout juste contact en tout point avec la corde de référence, sauf à l'une des deux extrémités des rouleaux lisses vis-à-vis le dispositif de bombement, il faut procéder à l'ajustement de ce dispositif. La façon de résoudre ce problème, qui se produit à l'occasion, est d'abaisser le rail du module mobile correspondant à l'extrémité du pont roulant qui ne fait pas contact avec la corde. Le rail est abaissé au droit du dispositif de bombement d'une hauteur équivalente à la distance libre mesurée sous l'extrémité des rouleaux qui ne fait pas contact avec la corde. Il faut ajuster le rail tel que cela est expliqué à l'étape relative à l'ajustement des rails du module mobile. Lorsque l'ajustement du rail est terminé, l'entrepreneur doit procéder à une dernière vérification pour s'assurer que le dessous des rouleaux lisses fait tout juste contact en tout point avec la corde de référence.

Passage à vide – généralités

Les principaux buts du passage à vide sont de vérifier, en simulant le bétonnage, que l'enrobage de béton au-dessus des armatures et l'épaisseur de la dalle sont conformes sur toute sa superficie. Le passage à vide doit être effectué sur l'ensemble de la dalle. Pour un pont de plusieurs travées où une partie seulement de la dalle est bétonnée, le passage à vide est réalisé sur la partie de dalle à bétonner et sur la zone tampon indiquée lors du calcul des goussets.

La marge de manœuvre de 15 mm dont dispose l'entrepreneur pour le positionnement des coffrages correspond à l'addition des tolérances allouées pour l'enrobage de béton au-dessus des armatures (5 mm) et pour l'épaisseur de la dalle (- 5 mm et + 10 mm).

Le surveillant doit être présent lors du passage à vide pour s'assurer de la conformité en tout point des épaisseurs de la dalle et de l'enrobage de béton au-dessus des armatures. Le passage à vide est le moment décisif pour vérifier la conformité du calcul des goussets ainsi que le positionnement des coffrages et de l'armature. Puisque le passage à vide est une opération qui peut se dérouler très rapidement, il est important pour le surveillant de s'entendre avec l'entrepreneur sur le moment de celle-ci afin d'y être présent.

Le passage à vide doit être effectué au moins 24 heures avant le début du bétonnage de la dalle. Cette exigence du CCDG s'impose afin de permettre la réalisation du passage à vide dans un climat le plus serein possible, loin de toutes contraintes liées par exemple à une heure de bétonnage trop rapprochée. Dans le cas d'une structure avec poutres en béton précontraint, le passage à vide doit être réalisé au moins 24 heures avant le bétonnage des diaphragmes permanents qui, rappelons-le, doivent être bétonnés avant le bétonnage de la dalle elle-même; le surveillant doit se référer au chapitre 6 « Précontrainte » de ce manuel pour plus d'information. Il serait en effet inutile de faire le passage à vide une fois le bétonnage des diaphragmes réalisé, car il serait alors impossible de modifier le niveau des coffrages de la dalle pour corriger une anomalie constatée lors du passage à vide.

Le passage à vide est effectué quand l'équipement de finition est ajusté à la satisfaction du surveillant et quand toute l'armature de la dalle est en place. Cette dernière exigence est importante, car l'évaluation de l'épaisseur de la dalle est basée sur la mise en place adéquate des armatures.

Le passage à vide est réalisé de façon similaire qu'une finisseuse automotrice ou qu'une règle vibrante soit utilisé. La seule différence entre les façons de faire réside dans le fait qu'il est possible d'installer plusieurs gabarits à la fois sous la règle vibrante permettant ainsi la réalisation rapide du passage à vide, puisqu'un seul déplacement de la règle est nécessaire pour couvrir toute la superficie à bétonner.

Une fois le passage à vide achevé avec succès, le surveillant doit prendre en note la hauteur de la règle vibrante ou des quatre pattes de levage de la finisseuse automotrice.

Cette précaution est de même nature que celle expliquée auparavant à la suite de l'ajustement de l'équipement de finition.

Le bétonnage de la dalle n'est autorisé qu'après la réalisation réussie du passage à vide, c'est-à-dire lorsque l'enrobage de béton au-dessus des armatures et l'épaisseur de la dalle sont conformes en tout point de celle-ci.

<u>Passage à vide – mesure de l'enrobage au-dessus des armatures</u>

La mesure de l'enrobage de béton au-dessus des armatures se fait par l'utilisation d'un gabarit fixé sous l'équipement de finition; ce gabarit représente la valeur de l'enrobage de béton. Il doit avoir une hauteur de 55 mm, ce qui signifie que la tolérance de 5 mm spécifiée dans le CCDG est accordée à l'entrepreneur sur la hauteur même du gabarit. Cette façon de faire est nécessaire pour faciliter le passage à vide en éliminant toute discussion possible lorsque le gabarit touche à l'armature ou à l'une de ses attaches. En effet, tout contact du gabarit avec l'armature ou ses attaches est alors automatiquement interprété comme un enrobage insuffisant.

Mentionnons que l'enrobage de l'armature de la dalle exigé sur les plans est mesuré au-dessus des fils d'acier fixant les armatures. Cette exigence du CCDG s'impose afin d'empêcher la détérioration prématurée du béton causée par la corrosion des fils fixant les armatures.

Passage à vide – mesure de l'épaisseur de la dalle

L'épaisseur de la dalle peut être mesurée selon deux méthodes. La première consiste à mesurer la distance entre le dessus du gabarit et le coffrage; cette façon de faire constitue une mesure directe de l'épaisseur de la dalle.

Il est possible de simplifier ce mesurage en utilisant un bâton auquel on a fixé un clou de chaque côté, un premier pour déterminer si la dalle est trop mince et un deuxième pour déterminer si la dalle est trop épaisse; ces clous sont fixés aux hauteurs requises correspondant aux épaisseurs minimale et maximale permises. Dans le premier cas, si le clou ne touche pas au gabarit, la dalle est considérée comme trop mince. Dans le deuxième cas, si le clou prend appui sur le gabarit sans que le bas du bâton touche au coffrage, la dalle est considérée comme trop épaisse.

Le seul avantage à l'utilisation du bâton est de permettre au surveillant de travailler en position debout. Le principal désavantage consiste à arrêter l'équipement de finition vis-à-vis des zones qui semblent poser des problèmes pour procéder à la mesure, ce qui ralentit la réalisation du passage à vide et a pour conséquence de limiter le nombre de mesures.

Le recours à la deuxième méthode élimine ces inconvénients. Celle-ci consiste à fixer un ressort sous un morceau de bois fixé lui-même sur le dessus du gabarit de manière à ce que celui-ci touche à l'armature lorsque l'épaisseur de dalle est conforme. Ce principe de fonctionnement a comme prémisse un positionnement adéquat des armatures par rapport aux coffrages, puisque l'épaisseur de la dalle est mesurée de façon indirecte en supposant que la tolérance de + 10 mm permise dans le CCDG est appliquée entièrement à l'enrobage de béton au-dessus des armatures. Il suffit alors d'évaluer la conformité ou non de l'enrobage en utilisant un ressort de 70 mm de longueur; cette longueur est égale à l'enrobage demandé de 60 mm additionnée de la tolérance de 10 mm mentionnée précédemment.

Cette méthode permet d'évaluer la conformité de l'épaisseur de la dalle en tout point de celle-ci sans arrêter à tout moment l'équipement de finition. La tâche du surveillant est simplifiée, puisqu'il n'a qu'à prêter attention au bruit émis par le ressort lorsqu'il touche à l'armature. Si le ressort touche à l'armature, l'épaisseur de la dalle est considérée comme conforme; dans le cas contraire, l'épaisseur de la dalle est considérée comme trop importante. Le ressort utilisé couramment sur les chantiers est du même type que celui qui est employé pour les arrêts de porte des résidences.

Passage à vide – réalisation

Les gabarits fixés sous une règle vibrante doivent être localisés près des deux rails de roulement ainsi que de part et d'autre du point haut transversal. Pour une dalle sur poutres, un gabarit doit aussi être localisé au-dessus de chaque poutre et sa longueur doit excéder la largeur de celle-ci.

Étant donné qu'un seul gabarit est fixé sous les rouleaux lisses, la finisseuse automotrice doit être déplacée sur plusieurs lignes longitudinales pour couvrir l'ensemble de la superficie de la dalle. Les lignes longitudinales suivantes devraient faire partie de celles choisies par le surveillant :

- près de chacun des rails de roulement;
- de part et d'autre du point haut transversal;
- et au-dessus de chaque poutre. La longueur du gabarit doit excéder la largeur de la poutre.

Il faut s'assurer lors du passage à vide que les rouleaux lisses sont positionnés de façon à ce qu'ils soient perpendiculaires au pont roulant de la finisseuse.

Passage à vide – correction des non-conformités

Il est important que l'entrepreneur n'applique pas une mesure correctrice dès qu'un problème d'enrobage de béton au-dessus des armatures ou d'épaisseur de dalle est rencontré à moins que celui-ci soit évident comme une barre d'armature déposée sur un goujon ou un étrier d'une poutre. Il est plutôt recommandé d'arrêter l'équipement de finition, de marquer à la peinture rouge l'armature de la zone de dalle posant un problème et de prendre en note les valeurs de l'enrobage de béton au-dessus des armatures et de l'épaisseur de la dalle. Après avoir fait un premier passage à vide sur au moins les deux tiers de la superficie de la dalle, l'entrepreneur a alors une meilleure vue d'ensemble des problèmes auxquels il fait face, ce qui lui permet de choisir adéquatement les correctifs nécessaires. Il faut toujours avoir à l'esprit les conséquences qu'une mesure correctrice peut avoir sur les zones de dalle jugées tout juste conformes auparavant. Par exemple, s'il est décidé de hausser l'équipement de finition de 5 mm, cette décision peut entraîner une épaisseur de dalle non conforme aux endroits où celle-ci avait été jugée tout juste conforme auparavant.

Toute non-conformité relative à l'enrobage de béton au-dessus des armatures doit être corrigée. L'entrepreneur doit alors choisir un des correctifs suivants lorsque l'enrobage est insuffisant à un endroit donné de la dalle :

- abaisser à cet endroit le niveau de l'armature par rapport aux coffrages. Cette solution est applicable dans la mesure où l'armature est positionnée trop haut par rapport aux coffrages, c'est-à-dire au-delà de la hauteur équivalant à l'épaisseur de la dalle à laquelle on a enlevé la valeur de l'enrobage de béton au-dessus des armatures;

- abaisser à cet endroit le niveau des coffrages. Cette solution est applicable pourvu que cela n'ait pas pour conséquence d'augmenter, à l'endroit où le coffrage est abaissé, l'épaisseur de la dalle au-delà des tolérances permises. Il n'y a aucune autre restriction quant à la modification du niveau des coffrages, sauf pour ceux qui supportent les rails de roulement de l'équipement de finition. Le niveau de ces coffrages ne doit pas être changé, car cela entraînerait la modification du profil des rails. Le profil des rails accepté par le surveillant ne doit être modifié sous aucun prétexte. S'il faut tout de même modifier le niveau de ces coffrages, il faut vérifier à nouveau le profil des rails et l'ajustement de l'équipement de finition; de plus, il faut reprendre le passage à vide;
- hausser l'équipement de finition. Cette solution est applicable pourvu que cela n'ait pas pour conséquence d'augmenter, à cet endroit et ailleurs sur la dalle, l'épaisseur de la dalle au-delà des tolérances permises.

De même, toute non-conformité relative à l'épaisseur de la dalle doit être corrigée. L'entrepreneur doit alors choisir un des correctifs suivants lorsque l'épaisseur de la dalle est insuffisante ou trop importante à un endroit donné de la dalle :

- pour une épaisseur de dalle insuffisante :
  - abaisser à cet endroit le niveau des coffrages;
  - hausser l'équipement de finition. Cette solution est applicable pourvu que cela n'ait pas pour conséquence d'augmenter, à cet endroit et ailleurs sur la dalle, l'épaisseur de la dalle au-delà des tolérances permises.
- pour une épaisseur de dalle trop importante;
  - hausser à cet endroit le niveau des coffrages,
  - abaisser l'équipement de finition.

Ces solutions sont applicables pourvu qu'elles n'aient pas pour conséquence de réduire, à cet endroit et ailleurs sur la dalle, la valeur de l'enrobage de béton au-dessus des armatures sous le minimum requis.

Le rehaussement de l'équipement de finition, contrairement aux correctifs relatifs aux armatures et aux coffrages, entraîne une correction sur l'ensemble de la dalle. Il est donc généralement considéré en dernier recours par l'entrepreneur compte tenu de la quantité additionnelle de béton que cela représente. La modification du niveau de l'équipement de finition est mesurée précisément au moyen d'un ruban à mesurer; il faut éviter de procéder en comptant le nombre de tours de manivelle des pattes de levage de l'équipement de finition, car cette façon de faire est imprécise.

Si aucun des correctifs mentionnés précédemment ne semble fonctionner, l'entrepreneur doit prendre les mesures nécessaires pour trouver une autre solution. La reprise du relevé d'arpentage et celle du calcul des goussets sont deux possibilités à envisager par l'entrepreneur s'il n'y a pas d'autres avenues pour sortir de l'impasse.

Si des erreurs sont trouvées lors de cette reprise, il faut vérifier à nouveau le profil des rails et l'ajustement de l'équipement de finition; de plus, il faut reprendre le passage à vide.

Passage à vide – vérifications diverses

Une fois le passage à vide réalisé avec succès sur l'ensemble de la dalle, l'entrepreneur doit procéder à la vérification de la hauteur des drains de tablier, des coffrages d'extrémités et, s'il y a lieu, du rail de roulement localisé sur une poutre située sous la voie carrossable.

La hauteur des drains est vérifiée en approchant l'équipement de finition tout près de chacun des drains. Il suffit de s'assurer que le dessus du drain est situé 30 mm plus haut que le dessus du gabarit. Compte tenu du fait que les drains sont posés verticalement alors que le gabarit suit la pente transversale du pont, il est recommandé de vérifier cette distance au centre du drain. Lorsque le drain est situé sur un coffrage en porte-à-faux de largeur importante, il est possible de tenir compte immédiatement de la déflexion du coffrage sous le poids du béton en augmentant de 5 mm la distance spécifiée de 30 mm; cette façon de faire permet généralement d'éviter de modifier la hauteur du drain lors du bétonnage. La hauteur des drains est ajustée au moyen des vis situées autour de ceux-ci.

La hauteur des coffrages des extrémités du pont et celle des joints de construction, transversaux et parfois longitudinaux, sont vérifiées en circulant avec l'équipement de finition au-dessus de ceux-ci. Puisque ces coffrages ont été construits plus bas que le niveau prévu du dessus du béton afin de permettre le passage de l'équipement de finition, la distance entre le dessous du gabarit et le dessus des coffrages doit être d'environ 25 mm afin d'éviter qu'un granulat du béton vienne s'y coincer, ce qui endommagerait les coffrages.

La hauteur du rail de roulement localisé sur une poutre située sous la voie carrossable est vérifiée en approchant le gabarit de l'équipement de finition à quelques endroits le long du rail. Puisque le rail a été mis en place de façon à avoir une distance de 25 mm entre le dessous du rail et le dessus du béton de la dalle afin de permettre la finition manuelle du béton directement sous le rail, la distance entre le dessus du gabarit et le dessous du rail devrait être d'environ 25 mm. Si cette distance minimale n'est pas respectée, il est recommandé de relever le rail d'une valeur constante sur toute sa longueur; cette façon de faire n'a pas d'impact sur les différents ajustements et vérifications effectués précédemment pourvu que la hauteur de l'extrémité de l'équipement de finition située vis-à-vis de ce rail soit abaissée d'une valeur équivalente.

Outre ces vérifications, dans le cas de la construction ou de la reconstruction d'une dalle réalisée en phases, l'entrepreneur devrait aussi veiller à ce que l'enrobage de béton au-dessus des armatures situées à proximité d'une phase de travaux non encore réalisée ait une valeur la plus grande possible tout en respectant l'épaisseur maximale de dalle permise. Cette précaution est nécessaire pour tenir compte de l'éventualité qu'une poutre de la phase de travaux non encore réalisée ait une cambrure plus

importante que n'importe quelle poutre des phases précédentes; cela devrait généralement suffire pour éviter de réduire l'enrobage de béton au-dessus des armatures ou l'épaisseur de la dalle vis-à-vis de la poutre qui pose un problème.

Une fois le passage à vide terminé, les tiges filetées des selles commerciales ajustables en hauteur doivent être coupées de façon à ne pas dépasser le dessus de ses supports de plus de 25 mm. Cette exigence du CCDG (voir l'article 15.4.3.1.3 « Accessoires des coffrages » du CCDG) est importante afin de limiter la profondeur des trous laissés par l'enlèvement des tiges filetées lors de l'enlèvement des coffrages.

Préparatifs avant bétonnage d'une dalle – diaphragmes en béton

Le bétonnage des diaphragmes permanents doit être fait avant celui de la dalle afin d'augmenter la résistance au déversement des poutres lors du bétonnage de la dalle. Cette exigence de la section 15.6 « Précontrainte » du CCDG ne s'applique pas aux diaphragmes situés au droit des piles n'ayant pas de joints de tablier; ceux-ci doivent être bétonnés en même temps que la dalle afin d'éviter l'apparition de fissures lors de la déflexion des poutres consécutive au bétonnage de celle-ci. L'entrepreneur n'est pas autorisé à bétonner la dalle avant que le béton des diaphragmes ait atteint une résistance d'au moins 10 MPa.

Mentionnons que le bétonnage de la portion des diaphragmes situés sous la phase de raccordement de la dalle, lors de la construction d'un tablier neuf, doit se faire en même temps que celui de la phase de raccordement de dalle.

Préparatifs avant bétonnage d'une dalle – séquence de bétonnage

La séquence de bétonnage d'une dalle à plus d'une travée est toujours mentionnée sur les plans; elle est composée d'étapes de bétonnage bien identifiées séparées par des joints de construction. L'emplacement de ceux-ci est déterminé par le concepteur selon les points d'inflexion du tablier.

Il existe deux séquences de bétonnage spécifiées couramment. La première, qu'on rencontre dans tous les projets de ponts ou de tabliers neufs et dans la plupart des projets de remplacement d'une dalle, consiste à bétonner d'abord la portion de dalle située dans la partie centrale des travées et ensuite celle située au droit des piles. Cette façon de faire a pour but d'éviter la fissuration trop importante du béton de la dalle au-dessus de la pile en raison de la déflexion des poutres, consécutive au bétonnage de la portion de dalle située dans la partie centrale des travées.

Le bétonnage au droit des piles ne peut être fait avant l'expiration d'un délai minimal de 48 heures suivant la fin du bétonnage de la partie centrale des travées. Cette exigence s'impose afin que le béton de la partie centrale des travées ait le temps d'atteindre une résistance suffisante avant qu'un poids supplémentaire ne soit ajouté sur le coffrage en porte-à-faux, ce qui entraînerait la fissuration du béton au droit de la poutre de rive. Ce poids supplémentaire provient soit du béton plastique posé à côté de celui du bétonnage précédent, soit de l'équipement de finition.

Cette exigence s'applique aussi, et pour les mêmes motifs, pour tout bétonnage successif quelle que soit la séquence de bétonnage retenue. En effet, il est exigé au CCDG de ne pas s'approcher à moins de 5 m avec l'équipement de finition d'un béton ayant moins de 48 heures d'âge.

Cette première séquence de bétonnage est généralement modifiable si un béton avec retardateur de prise est employé. Cette modification est avantageuse autant pour l'entrepreneur que pour le Ministère, car cela permet d'accélérer les travaux et de réduire le nombre de joints froids dans la dalle. La nouvelle séquence de bétonnage proposée par l'entrepreneur peut être jugée acceptable par le surveillant si elle est présentée au moins sept jours avant le bétonnage et si elle respecte les exigences qui suivent.

Pour les ponts de faible envergure, généralement ceux dont le volume de béton de la dalle est inférieur à 300 m^3, il est préférable de procéder à un seul bétonnage en commençant les travaux à une culée et en les terminant à l'autre culée; ce qui est possible de faire en une seule nuit si les travaux se réalisent en période estivale. Le volume de béton de 300 m^3 n'est mentionné qu'à titre indicatif; il n'est pas rare qu'il soit réduit lorsque la centrale de malaxage est de faible capacité. Il faut s'assurer que le taux de pose minimal du béton soit suffisant pour permettre d'achever la mise en place du béton sur au moins 75 % de la longueur de la plus longue travée à l'intérieur d'un délai maximal de deux heures indiqué au CCDG. Cette précaution est nécessaire pour que le béton de la dalle au droit de la pile soit encore à l'état plastique lors de la déflexion des poutres consécutive au bétonnage de la travée qui suit cette pile. L'utilisation d'un béton contenant un retardant réduit les risques de fissuration du béton au-dessus de la pile compte tenu du retard imposé à la prise initiale du béton.

Pour les ponts nécessitant plus qu'un seul bétonnage, le bétonnage devrait se faire à partir d'une culée, ou d'un bétonnage précédent, pour se terminer à la limite située entre deux étapes de bétonnage. Deux précautions doivent cependant être prises. La première est la même que celle apparaissant au paragraphe précédent concernant le taux de pose minimal du béton. La deuxième précaution, nécessaire pour les mêmes raisons, concerne la localisation de la fin d'un bétonnage lorsque celui-ci se termine entre deux étapes de bétonnage. La fin du bétonnage devrait, en effet, se situer juste avant une pile afin que le bétonnage de la portion de dalle située au droit d'une pile fasse partie de celui de la portion de dalle de la travée suivante.

Le taux de pose prévu par l'entrepreneur lors du dépôt de sa proposition de séquence de bétonnage, pour respecter le délai maximal de deux heures cité plus haut, doit s'appliquer sur l'ensemble de la dalle à bétonner. L'entrepreneur doit démontrer en début de bétonnage qu'il peut respecter ce taux de pose; si tel est le cas, les coffrages du premier joint de construction de la séquence initiale de bétonnage sont démantelés et le bétonnage peut se poursuivre selon la nouvelle séquence. Si ce n'est pas le cas, le surveillant doit demander l'arrêt du bétonnage au droit du premier joint de construction prévu à la séquence initiale; le bétonnage est interrompu à moins qu'il puisse se poursuivre selon la séquence de bétonnage prévue aux plans; cela est possible en autant que les coffrages des autres joints de construction soient en place.

Bien qu'il soit possible d'obtenir un taux de pose horaire de plus de 40 m^3 dans un grand centre urbain, ce qui est beaucoup plus que le taux minimal de 20 m^3 spécifié dans le CCDG, une vigilance particulière s'impose en région rurale où un taux de pose élevé peut être plus difficile à atteindre.

Par contre, il est interdit de modifier cette première séquence de bétonnage dans le cas de la reconstruction d'une dalle sur des poutres d'acier existantes réalisée en phases. Compte tenu des vibrations induites par les véhicules sur la partie du pont ouverte à la circulation, il n'est pas recommandé dans ce cas d'autoriser le bétonnage en continu de la dalle, car les précautions citées précédemment sont insuffisantes pour éviter la fissuration trop importante du béton de la dalle.

La deuxième séquence de bétonnage, qu'on rencontre dans quelques projets de reconstruction de dalle, consiste à bétonner d'abord la portion de dalle située au droit des piles et ensuite celle située dans la partie centrale des travées. Cette façon de faire a pour but de renforcer le système structural du tablier, composé généralement de poutres continues en béton armé, au droit des piles avant de bétonner par la partie centrale des travées. Cette séquence de bétonnage, qui permet de réaliser les travaux sans utiliser d'étaiement, n'est pas modifiable et doit être par conséquent suivie rigoureusement.

En plus de ces deux séquences de bétonnage, celle qui est prévue sur les plans d'un pont à travées continues, dont les travées ont une importante différence de longueur, n'est pas modifiable afin d'éviter le soulèvement d'une travée plus courte lors du bétonnage d'une travée adjacente plus longue. En cas de doute, le surveillant se doit de consulter le concepteur.

<u>Préparatifs avant bétonnage d'une dalle– début du bétonnage</u>

Le bétonnage doit s'effectuer à partir du point bas du profil longitudinal; un bétonnage à partir du point haut est à éviter, car cela favorise la fissuration du béton sous l'action de la gravité. De plus, cette façon de faire permet de réduire au minimum les problèmes de finition que pourrait causer l'écoulement de l'eau, utilisée pour l'humidification ou la cure des surfaces, vers l'équipement de finition. Dans le cas d'une dalle réalisée au moyen de plus d'un bétonnage, le bétonnage doit débuter à la fin du bétonnage précédent.

Si le profil longitudinal de la dalle est convexe, le premier bétonnage peut commencer à l'une ou l'autre des extrémités du pont pourvu que la pente du profil soit inférieure ou égale à 2 % en tout point; s'il y a lieu, le bétonnage suivant peut se réaliser à partir du bétonnage précédent. Si la pente du profil convexe est supérieure à 2 % en un point quelconque, le premier bétonnage doit débuter à une culée et prendre fin près du point haut du profil longitudinal. Le deuxième bétonnage doit commencer à l'autre culée pour se terminer à la fin du premier bétonnage. Comme cela a été mentionné précédemment à la séquence de bétonnage, un délai minimal de 48 heures est exigé entre les deux bétonnages.

Préparatifs avant bétonnage d'une dalle– matériel

Le surveillant doit vérifier la hauteur de la règle vibrante ou de la finisseuse automotrice à partir des mesures faites à la fin du passage à vide et ajuster celle-ci au besoin. Cette vérification est nécessaire pour s'assurer que personne n'a modifié la hauteur de l'équipement après le passage à vide.

Les rouleaux lisses de la finisseuse automotrice, qui avaient été positionnés perpendiculairement au pont roulant lors de l'ajustement de la finisseuse, doivent maintenant être placés à leur position de travail, c'est-à-dire selon un angle d'environ 5° par rapport à la ligne de centre du pont.

Il est possible de modifier l'élévation de la partie avant des rouleaux au moyen des pattes de levage avant de la finisseuse dans le but de contrôler la quantité de béton nécessaire au bétonnage et la finition du béton à l'arrière des rouleaux. Cette différence d'élévation par rapport au profil établi précédemment lors de l'ajustement de la finisseuse s'appelle « angle d'attaque ». Il est d'usage courant de se donner un angle d'attaque de 5 mm pour le début du bétonnage. L'angle d'attaque ne modifie pas les profils du dessus du béton et l'enrobage de béton au-dessus des armatures, car ceux-ci sont établis par la partie arrière des rouleaux lisses.

Puisque l'ajustement de l'équipement de finition a été fait en l'absence de béton sur les coffrages, il faut maintenant tenir compte de celui-ci avant d'entreprendre le bétonnage. Cette exigence s'impose afin de ne pas réduire la valeur de l'enrobage de béton au-dessus des aciers d'armature de la dalle par suite de la déflexion, sous le poids du béton, des coffrages en porte-à-faux qui supportent les rails de roulement de l'équipement de finition. Pour mesurer la déflexion des coffrages, il faut d'abord localiser l'équipement de finition sur les rails situés sur les approches du pont. L'entrepreneur doit ensuite mesurer au moyen d'un niveau d'arpentage le niveau du dessus du coffrage, situé tout juste à côté du rail de roulement, avant et après la mise en place de béton sur le coffrage en porte-à-faux. Afin d'obtenir une déflexion représentative, le béton devrait être déversé à l'épaisseur prévue pour la dalle, sur toute la largeur du porte-à-faux, sur une longueur correspondant à deux fois l'espacement des supports de coffrage en porte-à-faux. Il peut aussi être nécessaire de déverser du béton sur le coffrage situé entre la poutre qui soutient un coffrage en porte-à-faux et la poutre suivante afin d'éviter des problèmes d'instabilité. La différence entre les deux mesures représente la déflexion des coffrages. L'entrepreneur doit hausser l'équipement uniformément d'une valeur équivalente à la déflexion mesurée.

Si la largeur des coffrages en porte-à-faux n'est pas la même sur les deux côtés du bétonnage, il faut mesurer la déflexion des deux coffrages. Dans le cas d'un rail situé sur le coffrage en porte-à-faux d'un pont en courbe pour lequel la largeur de la dalle en porte-à-faux est variable, il est recommandé de hausser d'office l'équipement de finition de 5 mm. Par contre, si l'un des rails de roulement est localisé sur une poutre, l'équipement de finition n'a pas à être haussé vis-à-vis de celle-ci.

Préparatifs avant bétonnage d'une dalle – personnel requis

Le surveillant doit s'assurer quelque temps avant le bétonnage de la dalle que l'entrepreneur aura du personnel en nombre suffisant pour réaliser les travaux. Il ne faut pas oublier que l'utilisation d'un équipement de finition est exigée d'abord et avant tout pour obtenir en tout point de la dalle le profil longitudinal désiré et l'enrobage de béton exigé au-dessus des armatures. Il ne réduit en rien le nombre de personnes nécessaire pour réaliser le bétonnage.

Outre l'opérateur de l'équipement de finition, le personnel normalement requis pour procéder au bétonnage d'une dalle est :

- une personne pour manœuvrer l'extrémité de la ligne de pompage;
- au moins une personne pour assurer la vibration interne du béton. Celle-ci est requise, car la vibration du béton faite par l'équipement de finition n'est pas une vibration en profondeur; elle n'est utile que pour augmenter la quantité de laitance en surface afin de faciliter la finition du béton;
- au moins deux personnes pour ajuster la quantité de béton à l'avant des rouleaux lisses. Un travail bien fait à ce niveau diminue grandement les besoins en finition manuelle à l'arrière du finisseur;
- deux personnes pour terminer la mise en place, les profils et la finition du béton près des côtés du bétonnage;
- deux personnes pour terminer la finition du béton à l'arrière de l'équipement de finition. Mentionnons que la qualité de la finition du béton réalisée par l'équipement de finition respecte rarement les exigences relatives au relief du béton nécessaires pour la pose de la membrane d'étanchéité d'où la grande importance du travail de ces deux personnes;
- deux personnes pour l'humidification des surfaces et la cure du béton.

Dans le cas d'un bétonnage ayant une grande largeur, il faut ajouter quelques personnes supplémentaires pour la vibration du béton et son ajustement à l'avant des rouleaux lisses.

Bétonnage d'une dalle – béton, coffrages, drains et évents d'injection

Le béton utilisé pour le bétonnage d'une dalle au moyen d'une finisseuse automotrice devrait avoir un affaissement le plus constant possible; une tolérance de l'ordre de 10 mm devrait être signifiée par l'entrepreneur à son fournisseur de béton. Cette précaution, qui n'est pas contractuelle, est très importante pour réduire au minimum les besoins en finition manuelle à l'arrière de la finisseuse. En effet, l'angle d'attaque est souvent ajusté peu après le début du bétonnage, selon l'affaissement du béton utilisé, de façon à obtenir une finition adéquate; puisque cet ajustement se fait sur une certaine longueur de bétonnage, la qualité de la finition du béton durant cet ajustement est réduite, d'où l'intérêt de maintenir l'affaissement du béton le plus constant possible tout au long du bétonnage.

Puisque les coffrages d'extrémité du bétonnage et, s'il y a lieu, ceux des joints de construction ont été construits plus bas que le niveau prévu du dessus du béton pour permettre le passage de l'équipement de finition, il faut rehausser ces coffrages après son passage.

Il est de bonne pratique de déposer le béton plastique sur le coffrage situé entre la poutre qui soutient un coffrage en porte-à-faux et la poutre suivante avant de mettre en place le béton sur le coffrage en porte-à-faux. Cette précaution est importante afin de ne pas déstabiliser les selles ajustables en hauteur situées sur la poutre soutenant ce coffrage.

La hauteur des drains de tablier doit être vérifiée une dernière fois immédiatement à l'arrière de l'équipement de finition pour s'assurer que leur niveau est bien à 30 mm au-dessus du béton de la dalle. Si ce n'est pas le cas, il faut écarter le béton plastique autour du drain et modifier la hauteur de celui-ci au moyen des vis d'ajustement. Il faut aussi voir à ce que les trous de drainage au pourtour du drain soient libres de tout béton; il faut utiliser au besoin un ciseau à froid pour enlever tout béton qui aurait pu durcir à l'intérieur de ces trous.

Dans le cas du bétonnage d'un tablier en béton précontraint par post-tension, les évents d'injection doivent être rabattus et attachés aux aciers d'armature du tablier lors du passage à vide et lors du bétonnage. Cependant, après le passage de l'équipement de finition au-dessus de ceux-ci lors du bétonnage, il ne faut surtout pas oublier de les remettre en position verticale.

Bétonnage d'une dalle – matériel

Au moment de débuter le bétonnage, l'équipement de finition et les plates-formes de travail doivent être localisés à l'extérieur de la surface de la dalle à bétonner afin de permettre le dépôt du béton devant l'équipement. Cette façon de faire facilite grandement l'obtention des profils transversal et longitudinal exigés. Lorsqu'il n'a pas été possible de prolonger les rails sur l'approche d'un pont situé en milieu fortement urbanisé, le béton est déposé à l'arrière de l'équipement de finition et celui-ci est ensuite reculé au-dessus de ce béton; le surveillant doit alors s'assurer que toute l'énergie nécessaire est déployée pour obtenir une qualité de travaux adéquate.

Dans le cas d'un pont avec bombement transversal de 2 % ou avec un dévers peu important, la finisseuse automotrice est avancée d'environ 150 mm lorsque le module mobile se situe près de chacun des côtés du bétonnage. Dans le cas d'un pont ayant un dévers important, généralement supérieur à 5 %, la finisseuse automotrice est avancée d'environ 150 mm lorsque le module mobile est situé près du côté inférieur du dévers; cette façon de faire s'impose afin d'éviter d'entraîner le béton vers le bas du dévers. Dans tous les cas, la finisseuse est avancée de façon égale à ses deux extrémités de manière à conserver en tout temps la finisseuse perpendiculaire à la ligne de centre du pont.

La règle vibrante, quant à elle, est avancée d'environ 300 mm à la fois lors du bétonnage; l'alimentation en air comprimé est interrompue pendant l'arrêt de la règle pour éviter une vibration excessive du béton.

Le rythme d'avancement du bétonnage est conditionné par la partie des travaux ayant le rythme le plus lent. Ces parties sont le dépôt du béton à l'avant de l'équipement de finition, l'équipement de finition lui-même et la finition manuelle du béton à l'arrière de l'équipement de finition. Notons que cette dernière partie des travaux est souvent celle qui en contrôle le rythme.

Chacune des parties des travaux doit s'adapter au rythme des autres parties afin de ne pas dépasser une largeur de béton plastique de 3 m à l'avant de l'équipement de finition et une largeur maximale de béton non fini de 6 m à l'arrière de cet équipement. Ces exigences s'imposent afin de faciliter la finition du béton, tant par l'équipement de finition que par les personnes travaillant à l'arrière de celui-ci, en limitant la perte d'eau par évaporation du béton plastique. Plus les largeurs mentionnées sont faibles, plus la finition du béton est facilitée. Il est recommandé de placer le béton par bandes de largeur uniforme, inférieure à 1 m, devant l'équipement de finition pour avoir un béton le plus similaire possible sur la pleine largeur de la dalle, et ce, pour faciliter le travail de finition du béton. De plus, le rythme d'arrivée des chargements de béton au chantier devrait être conditionné par le rythme d'avancement des travaux afin d'éviter tout retard dans le déchargement; en effet, un chargement de béton qui n'est pas rapidement mis en place après son arrivée au chantier ne peut que nuire aux opérations de finition du béton.

La finisseuse automotrice doit être ajustée en cours de bétonnage en fonction de la qualité de la finition obtenue à l'arrière de celui-ci, afin de réduire au minimum les besoins en finition manuelle. En effet, lorsqu'on constate un surplus de béton ou un manque de béton à l'arrière de la finisseuse, il faut modifier l'angle d'attaque des rouleaux de manière à avoir un ourlet de béton entre les deux rouleaux lisses sur pratiquement toute leur longueur.

Avant de modifier l'angle d'attaque des rouleaux lisses, il faut d'abord s'assurer que la finisseuse est avancée de façon égale à ses deux extrémités de manière à conserver en tout temps la finisseuse perpendiculaire à la ligne de centre du pont; cette façon de faire permet de garder les rouleaux lisses à un angle optimal par rapport à la finisseuse. Dans le cas d'un pont avec dévers, il faut veiller à ce que le déplacement de la finisseuse se fasse selon le rayon de la courbe, c'est-à-dire sur une distance toujours un peu plus grande au haut de la courbe qu'au bas de celle-ci; il est recommandé de tracer des repères sur les coffrages de côté pour faciliter les choses.

Il est aussi recommandé d'attendre d'avoir dépassé la portion en biais de la dalle avant de modifier l'angle d'attaque des rouleaux lisses, car il n'est pas facile d'obtenir une finition adéquate dans cette zone.

Bien qu'un léger surplus de béton puisse être utile à l'arrière des rouleaux lisses pour en faciliter la finition, tout excès devrait, par contre, être éliminé en augmentant l'angle d'attaque des rouleaux lisses, ce qui se fait en abaissant la partie avant de la finisseuse au moyen des pattes de levage avant. Il est possible dans certains cas d'avoir un angle d'attaque aussi élevé que 20 ou 25 mm.

De même, lorsqu'un manque de béton est constaté à l'arrière des rouleaux lisses, il est possible de diminuer l'angle d'attaque en haussant la partie avant de la finisseuse au moyen des pattes de levage avant afin d'augmenter la quantité de béton entre les rouleaux. Il ne faudrait cependant pas hausser les rouleaux lisses au-delà de la hauteur fixée lors de l'ajustement du pont roulant de la finisseuse sur la corde de référence. Il est possible de réduire ou d'augmenter l'angle d'attaque sur un seul côté de la finisseuse lorsque le surplus ou le manque de béton ne touche qu'un côté de la dalle.

Si l'ajustement de l'angle d'attaque de la finisseuse ne suffit pas pour obtenir une finition adéquate à l'arrière de celui-ci, il est possible d'ajuster la hauteur des vis sans fin pour réduire ou augmenter la quantité de béton devant les rouleaux lisses. De même, il est possible de varier le degré de vibration de la boîte vibrante pour augmenter ou diminuer la quantité de laitance en surface.

Exceptionnellement, la finisseuse automotrice peut être reculée de quelques mètres pour qu'une finition de béton jugée inadéquate puisse être reprise. Pour ce faire, il suffit d'approcher le module mobile près d'un des rails de roulement et, tout en maintenant la rotation des rouleaux lisses, de reculer la finisseuse.

La vibration du béton au moyen de la boîte vibrante de la finisseuse devrait être arrêtée lorsque le déplacement du module mobile est interrompu pour un certain temps, afin d'éviter une vibration excessive du béton.

La responsabilité de modifier l'angle d'attaque, la hauteur des vis sans fin ou le degré de vibration de la boîte vibrante devrait être confiée à une personne en autorité de l'entrepreneur, présente en permanence près de la finisseuse; il faudrait éviter que tout un chacun puisse modifier le fonctionnement de ces accessoires afin de rationaliser le plus possible l'utilisation de la finisseuse.

<u>Bétonnage d'une dalle– fin du bétonnage</u>

L'équipement de finition doit être déplacé en dehors de la zone bétonnée. Il doit être suffisamment éloigné de la surface bétonnée pour en permettre le nettoyage sans risquer d'éclabousser le béton plastique de la dalle. Lorsqu'il n'a pas été possible de prolonger les rails sur l'approche d'un pont situé en milieu fortement urbanisé, l'équipement de finition est retiré du chantier au moyen d'une grue ou d'un autre équipement similaire avant de procéder à son nettoyage.

Dans tous les cas, il est interdit de revenir au début du bétonnage avec l'équipement de finition, car cela risquerait d'entraîner la fissuration du béton au droit de la poutre de rive. S'il faut absolument revenir au début du bétonnage, il faut attendre un délai

minimal de 48 heures suivant la fin du bétonnage pour laisser le temps au béton d'atteindre une résistance suffisante. Cette exigence ne s'applique pas lorsque les deux rails de roulement sont localisés directement sur des poutres.

Lorsqu'un rail de roulement est localisé sur une poutre située sous la voie carrossable, les supports du rail doivent être retirés après le durcissement du béton afin de ne pas endommager celui-ci au pourtour des supports. Les trous laissés par l'enlèvement des supports doivent être comblés de béton lors du bétonnage subséquent des chasse-roues, des glissières, des trottoirs ou des pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle; l'utilisation de mortier cimentaire est interdite pour préserver l'intégrité de l'enrobage de béton au-dessus des armatures.

Bétonnage d'une dalle – bris de matériel

En cas de bris de matériel au chantier ou à la centrale de dosage, les travaux sont immédiatement suspendus. La surface exposée de béton plastique devrait être maintenue humide en tout temps. Tant que le temps de gâchage de ce béton est inférieur à 120 minutes, la reprise du bétonnage peut se faire sans autre formalité. Par contre, à la suite de l'expiration de ce délai, un vibrateur devrait être foncé dans le béton à intervalles de 15 minutes. Ce dernier devrait être en mesure de s'enfoncer facilement dans le béton sous son propre poids; au moindre signe de durcissement, le bétonnage doit être interrompu pour au moins 48 heures. Ce délai est nécessaire pour éviter la fissuration du béton en place au droit de la poutre de rive.

La durée du temps de prise mentionnée au devis spécial, pour contrer l'effet de réduction de temps prise associé à l'utilisation du superplastifiant à base de polycarboxylate, ne doit pas être interprétée par l'entrepreneur comme une autorisation d'office du surveillant à dépasser le délai de 120 minutes entre le malaxage et le déchargement du béton; si tel était le cas, le temps de prise minimal demandée au devis spécial n'aiderait en rien à éliminer les problèmes (joints froids, nids d'abeille…) mentionnés au paragraphe précédent. Si l'entrepreneur désire, en plus d'utiliser du superplastifiant à base de polycarboxylate), excéder le délai de 120 minutes cité plus haut, par exemple pour des longues distances de transport, il devra augmenter encore plus le temps de prise mentionné au devis spécial.

En cas d'arrêt des travaux à la suite d'un bris mécanique quelconque, la finition du béton doit être réalisée moins de 45 minutes après la mise en place du béton. Cette exigence du CCDG est nécessaire pour éviter qu'il ne soit plus possible de finir adéquatement le béton. Mentionnons qu'il est alors nécessaire de déplacer l'équipement de finition vers l'avant afin d'avoir accès à toutes les surfaces de dalle.

Si le bris de matériel concerne un des deux rouleaux lisses de la finisseuse automotrice, il est possible de poursuivre le bétonnage avec un seul des deux rouleaux. En cas de bris du rouleau gauche, il suffit de lever ce rouleau et, en cas de bris du rouleau droit, il suffit de lever la finisseuse d'une certaine hauteur et de descendre le rouleau gauche d'une hauteur équivalente.

En cas de bris non réparable de l'équipement de finition, les travaux ne doivent pas se poursuivre en utilisant les moyens du bord et un joint de construction d'urgence doit être réalisé alors que la maniabilité du béton le permet encore. Le surveillant doit se référer à la section 4.3.5.5 « Mise en place du béton plastique » de ce chapitre pour plus de détails concernant la mise en place du joint de construction d'urgence lorsqu'une pluie oblige la suspension des travaux.

4.3.5.7 Vibration du béton

La vibration du béton est souvent considérée comme simple et évidente, d'où le fait de voir régulièrement les ouvriers mal utiliser le vibrateur. Le but de la vibration est de consolider le mélange en y enlevant les vides, les poches d'air et les grosses bulles, et de bien lier entre elles les couches de béton superposées (levées) en augmentant momentanément la fluidité de celui-ci. Un manque de vibration du béton peut mener à l'apparition de plusieurs problèmes, dont les principaux sont la présence de démarcations entre les levées ou de joints froids, une mauvaise consolidation du béton autour des armatures et l'apparition de nids de cailloux à la surface du béton à la suite de l'enlèvement des coffrages.

Il est important de noter que la vibration des bétons autoplaçants (bétons de type XIV-C, XIV-R et XIV-S) ou antilessivage (béton de type XV) est inutile, et même dommageable, compte tenu de la nature particulière de ceux-ci. La seule exception à cette règle concerne la partie supérieure des pieux caissons lorsque ceux-ci sont réalisés en béton de type XV, qui doit être vibré. Cette vibration est par contre réalisée hors de l'eau et une fois que toute l'eau et la laitance sont évacuées de la surface du béton, ce qui élimine les problèmes associés à la vibration de ce type de béton.

Le béton semi-autoplaçant (type XVII) doit quant à lui être vibré, même si ce béton est très fluide et possède un comportement à l'état frais qui peut s'apparenter au béton autoplaçant. La vibration doit toutefois être moins intense que ce qui est normalement requis pour un béton de masse volumique normale comme le type V-S.

Tout comme pour le manque de vibration, l'excès de vibration peut mener à l'apparition de plusieurs problèmes, dont le principal est la ségrégation dans le béton. En effet, un excès de vibration peut faire descendre les granulats vers le fond et faire migrer une trop grande quantité de laitance vers la surface et les parois du coffrage. Il est, par contre, beaucoup plus fréquent de rencontrer des problèmes dus à un manque de vibration que des problèmes dus à un excès de vibration.

Le CCDG interdit formellement l'utilisation des vibrateurs pour déplacer le béton afin d'éviter la ségrégation de celui-ci. Le surveillant doit être vigilant sur ce point, parce que les ouvriers ont tendance à profiter des propriétés fluidifiantes des vibrateurs pour faciliter leur travail.

L'entrepreneur doit utiliser des vibrateurs internes pour la consolidation du béton. Le vibrateur doit être enfoncé verticalement, sous son propre poids, de façon à assurer une bonne liaison entre les levées superposées de béton plastique; il est retiré

lentement afin de laisser le temps aux bulles d'air de s'échapper. Il est fréquent de voir les ouvriers lancer le vibrateur dans un secteur éloigné plutôt que de s'y déplacer eux-mêmes; les ouvriers doivent se rendre à l'endroit où le béton doit être vibré pour s'assurer que le vibrateur est enfoncé à la verticale. La figure 4.3-17 illustre la façon correcte d'utiliser un vibrateur dans un coffrage vertical. Le vibrateur doit être enfoncé jusqu'à ce qu'il pénètre de façon importante à l'intérieur de la couche de béton précédente.

Comme une bonne vibration doit être réalisée en enfonçant verticalement le vibrateur jusqu'à l'intérieur de la levée précédente, l'épaisseur des levées joue un rôle important dans la qualité de la consolidation, Comme il a été mentionné à la section « Mise en place du béton plastique », il est important de respecter l'épaisseur maximale des levées de 500 mm si on veut que les ouvriers soient en mesure d'aller chercher avec suffisamment de profondeur la levée inférieure avec la tige du vibrateur.

Si les ouvriers ne sont pas en mesure de se rendre à la surface du béton mis en place pour le vibrer, comme ce peut être le cas dans certains éléments élancés tels que les piles ou même certaines culées, l'entrepreneur doit utiliser des vibrateurs dont la tige est plus longue ou utiliser des cordes de manière à plonger le vibrateur dans le béton à partir du dessus des coffrages. Notons cependant que lorsqu'il est possible d'aménager une ouverture temporaire dans la cage d'armature, il est toujours préférable d'avoir des ouvriers manipulant les vibrateurs à la hauteur de la surface du béton.

Les vibrateurs doivent être utilisés selon un espacement adéquat, de façon à ce que les zones d'influence puissent se chevaucher. La zone d'influence est la zone circulaire autour du vibrateur où l'on peut voir de la laitance monter à la surface et des bulles d'air s'échapper de la surface lors de la vibration. Cette zone a généralement un rayon approximatif de 250 mm lorsqu'un vibrateur de taille moyenne est utilisé. Une fois qu'il est enfoncé, il faut maintenir le vibrateur en place le temps nécessaire pour une bonne consolidation, soit de 5 à 15 secondes par immersion. La vigilance s'impose sur ce point, car l'entrepreneur a tendance à aller un peu trop rapidement.

Le béton doit être vibré avec soin près des coffrages et autour des armatures afin de ne pas endommager la doublure de coffrage, d'une part, et de ne pas faire vibrer les armatures, d'autre part. À cet effet, vibrer les armatures avec la tige du vibrateur pour retirer de celles-ci du béton frais accumulé lors de la coulée constitue une très mauvaise pratique. La vibration intense des barres risque de dégrader la liaison avec le béton déjà coulé alors que ce dernier commence à faire sa prise. Il faut donc intervenir sur-le-champ si on constate cette pratique lors de la coulée.

Il est très important de mentionner aussi que la vibration du béton autour des tiges d'ancrage des poteaux en acier des dispositifs de retenue doit être faite avec soin afin d'éviter la formation de vides sous la plaque d'ancrage et sous le gabarit en bois et aussi d'éviter le déplacement de ces éléments.

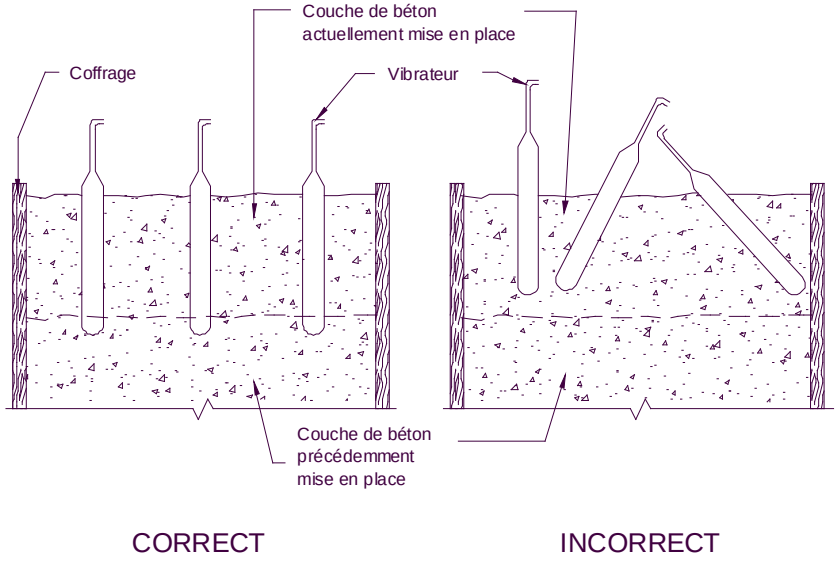


Figure 4.3-17 Positions du vibrateur dans un coffrage vertical

Il est précisé au CCDG les caractéristiques du vibrateur à utiliser en fonction du taux de mise en place prévu. Ces caractéristiques sont la fréquence minimale pendant l'immersion et le diamètre de la tête du vibrateur.

Il est également fixé au CCDG le nombre de vibrateurs requis pour les travaux selon le taux de mise en place possible par vibrateur. Le surveillant doit veiller au respect de cette exigence, car l'entrepreneur a tendance à réduire le nombre ou la grosseur des vibrateurs, ce qui l'oblige à abaisser le niveau de consolidation, surtout dans des coffrages élancés où les ouvriers se déplacent plus difficilement. Un vibrateur de rechange, pour chaque diamètre utilisé, doit être disponible sur le chantier en cas de bris. De même, dans le cas où l'alimentation électrique vient d'une génératrice, il serait prudent d'en avoir une autre en réserve au chantier.

L'entrepreneur devrait également toujours se munir d'un vibrateur avec une tête de petit diamètre en surplus de ceux exigés dans le CCDG lors des bétonnages importants. Les plus petits vibrateurs à béton ont une tête de 20 mm de diamètre, ce qui permet de les insérer relativement facilement dans des endroits exigus. Ceci peut s'avérer fort pratique dans des zones où le ferraillage est important ou près des tiges d'ancrages noyées dans le béton.

Les réparations représentent souvent des cas problématiques pour la vibration du béton. Il faut tout d'abord mentionner que les difficultés de vibration lors des réparations sont souvent dues à l'emploi d'un équipement inapproprié par l'entrepreneur. Les réparations sont des endroits souvent difficiles d'accès et il convient d'y utiliser des vibrateurs avec une tête de petit diamètre. Il est cependant fréquent que les entrepreneurs ne se munissent pas de tels équipements lors de la coulée de

réparations et utilisent des vibrateurs trop gros, ce qui rend la vibration difficile ou impossible. Le surveillant se doit donc de vérifier avec l'entrepreneur, au moment d'autoriser le bétonnage des premières réparations, que ce dernier possède bel et bien un équipement de vibration approprié.

Avec l'utilisation croissante des bétons autoplaçants (types XIV-R, XIV-S et XIV-C) pour les réparations avec et sans surépaisseur, ce problème de la difficulté de vibration peut être facilement contourné. En effet, rappelons que ces types de bétons n'ont pas à être vibrés. Les bétons autoplaçants sont maintenant exigés pour des réparations sans surépaisseur ce qui élimine la nécessité de la vibration dans ces cas. Quant aux réparations avec surépaisseur, le choix d'un béton XIV-C pour une réparation de faible épaisseur peut s'avérer un choix judicieux plutôt que la réalisation d'une multitude de trappes dans les coffrages couplé à l'utilisation du vibrateur dans ces endroits souvent exigus.

Finalement, mentionnons que la vibration externe, qui consiste à vibrer l'extérieur des coffrages afin de consolider le béton à l'intérieur, doit être refusée. Ce type de procédé entraine souvent des problèmes au niveau de la déformation des coffrages et peut résulter en une mauvaise consolidation du béton ou une trop grande vibration, ce qui cause de la ségrégation.

4.3.5.8 Finition du béton

Le matériel utilisé pour la finition du béton doit être fabriqué d'un alliage d'aluminium ou de magnésium, car l'utilisation d'un matériel en acier entraîne des problèmes d'écaillage alors que celle d'un matériel en bois modifie le réseau d'air.

Il est interdit d'utiliser de l'eau ou toute autre substance pour faciliter la finition du béton. Cette interdiction du CCDG s'impose afin d'éviter d'augmenter indûment le rapport eau/liant du béton de surface et ainsi affecter la durabilité des ouvrages. Sur ce point, le surveillant doit être particulièrement attentif lors du bétonnage des dalles, les finisseurs ayant tendance à utiliser le surplus d'eau vaporisée avant la cure pour faciliter la finition manuelle.

Dans le cas des blocs d'assise des appareils d'appui, il est exigé au CCDG que la surface du dessus de ces blocs soit parfaitement plane et horizontale, et une tolérance de 0,35 % dans chaque direction est exigée au CCDG pour cette surface. Cette exigence est très importante pour assurer un fonctionnement normal des appareils d'appui, surtout dans le cas des appareils d'appui à élastomère frettés. Il n'est pas inutile de rappeler que le surveillant doit vérifier le béton alors que ce dernier est encore malléable. Il est aussi précisé au devis spécial que les blocs d'assise sont finis à 3 mm de leur élévation théorique prévue aux plans. Le surveillant doit donc s'assurer par arpentage avant le bétonnage que les repères installés pour la finition (baguettes pour chanfreins) ont été positionnés à la bonne élévation.

Dans le cas des dalles, la qualité de la finition du béton doit être suffisante pour respecter le relief exigé lors de la pose de la membrane d'étanchéité. La finition manuelle du béton réalisée à partir de la plate-forme de travail réservée à cet usage comprend la finition à la truelle et à l'aplanissoir.

L'aplanissoir est passé transversalement à la dalle pour éviter la formation de bosses. Il faut s'assurer en tout temps que le passage de l'aplanissoir ne produit pas de défaut à la surface du béton, notamment une dénivellation entre deux passages successifs; le nombre de passages est réduit au minimum nécessaire compte tenu de l'effet négatif d'une finition répétée sur le réseau d'air. L'aplanissoir n'est utilisé que lorsque requis par l'état des surfaces.

En fonction des caractéristiques du béton utilisé, un pourcentage plus ou moins important de la superficie de la dalle doit faire l'objet d'une finition au moyen d'une truelle manuelle avant le passage de l'aplanissoir afin de bien sceller la surface de béton.

Lorsque la règle vibrante est utilisée comme équipement de finition, une bosse est systématiquement créée à chaque arrêt-départ de la règle. Cette bosse doit être éliminée au moyen d'une règle d'arasement avant le passage de l'aplanissoir.

La finition du béton près des rails de roulement doit se faire manuellement étant donné que l'équipement de finition est souvent ajusté pour ne pas couvrir la surface de dalle située sur la largeur effective des drains de tablier. De plus, dans le cas de l'utilisation du finisseur automoteur, une largeur d'environ 450 mm, correspondant à la largeur du module mobile, n'est pas finie adéquatement près des rails. Les personnes chargées de la finition près de ces rails doivent se guider sur les marques qui ont été effectuées sur les barres d'armature du chasse-roue ou de la glissière lors du passage à vide. Elles devraient également utiliser une règle droite d'au moins 1 200 mm de longueur afin de s'assurer de prolonger adéquatement la pente transversale imposée par l'équipement de finition.

Le surveillant doit vérifier le profil longitudinal ainsi obtenu près des rails de roulement avant le durcissement du béton, et ce, à tous les mètres. Pour ce faire, il peut utiliser un niveau de menuisier et s'assurer que la hauteur entre le niveau déposé sur le rail de roulement adjacent et le dessus du béton est constante à une distance donnée du rail. Il peut aussi se servir d'un niveau d'arpentage et vérifier que le profil longitudinal du béton plastique ne présente aucun changement de pente susceptible de créer une flaque d'eau.

La vérification du profil longitudinal du béton plastique près des rails de roulement doit être rigoureuse aux endroits où celui-ci est faible, voire nul comme au sommet d'un profil convexe. Toute erreur, si minime soit-elle, va favoriser la présence de dépressions où l'eau va s'accumuler. Ces dépressions sont reproduites sur le revêtement en enrobé, puisque celui-ci est posé selon une épaisseur constante. Outre les risques d'aquaplanage l'été ou de glissance l'hiver dus à un mauvais drainage du dessus de

l'enrobé, ces dépressions favorisent la dégradation accélérée du revêtement en empêchant l'eau accumulée à l'interface de la membrane d'étanchéité et de l'enrobé de se rendre jusqu'au drain de tablier le plus près.

Contractuellement, l'entrepreneur est tenu de respecter le profil de la dalle et d'obtenir une surface sans bosses ou creux selon l'article 15.4.3.5.11 du CCDG; cet article n'exige aucune irrégularité supérieure à 5 mm vérifiée avec une règle de 3 m. Cette vérification doit s'effectuer après la cure sur l'ensemble de la dalle; la présence de flaques d'eau à la suite d'une pluie peut indiquer les zones potentiellement hors norme mais mentionnons que les joints de coulée et les abords des chasse-roues ou glissières sont souvent des zones plus propices où le profil peut dévier de plus que 5 mm et devraient donc faire l'objet d'une vérification plus soignée. Toute non-conformité devra être traitée selon l'article 7.10 « Travaux défectueux » du CCDG et le surveillant pourra alors considérer l'étendue du défaut et la pente longitudinale du tablier pour déterminer si la correction proposée par l'entrepreneur est efficace. Mentionnons que la correction la plus efficace s'avère souvent le meulage en surface, tant que celui-ci ne réduit pas le recouvrement de manière trop importante.

Rappelons que le rythme de bétonnage d'une dalle est conditionné par la partie des travaux ayant le rythme le plus lent, à savoir la finition manuelle du béton à l'arrière de l'équipement de finition. Chacune des parties des travaux doit s'adapter au rythme des autres parties afin de ne pas dépasser une largeur de béton plastique de 3 m à l'avant de l'équipement de finition et une largeur maximale de béton non fini de 6 m à l'arrière de cet équipement. Ces exigences du CCDG s'imposent afin de faciliter la finition du béton, tant par l'équipement de finition que par les personnes travaillant à l'arrière de celui-ci, en limitant la perte d'eau par évaporation du béton plastique. Plus les largeurs mentionnées sont faibles, plus la finition du béton est facilitée. Rappelons aussi que la qualité de la finition du béton réalisée par l'équipement de finition respecte rarement les exigences relatives au relief du béton nécessaires pour la pose de la membrane d'étanchéité d'où la grande importance du travail de finition manuelle réalisé derrière l'équipement de finition.

Bien qu'il n'existe aucune exigence précise quant à la finition du béton d'une dalle vis-à-vis d'un trottoir, d'une piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle, d'un chasse-roue ou d'une glissière en béton, il est de bonne pratique d'égaliser sommairement le béton à ces endroits. Il est inutile, voire néfaste pour le liaisonnement du béton entre la dalle et ces éléments, de procéder à une finition soignée du béton. Il faut, par contre, s'assurer de niveler le béton vis-à-vis de la baguette de bois du chanfrein séparant la face extérieure de la dalle et l'élément situé au-dessus afin de préserver l'esthétisme souhaité par l'utilisation de ce chanfrein.

4.3.5.9 Cure des éléments en béton coulés en place

Lorsqu'on mélange du ciment Portland avec de l'eau, il se produit une réaction chimique que l'on appelle « hydratation ». Les propriétés du béton, telles que la résistance à la compression, la résistance au gel et dégel et à l'écaillage ainsi que

l'imperméabilité, dépendent dans une grande mesure du niveau d'hydratation atteint. La réaction d'hydratation se produit tant et aussi longtemps qu'il y a de l'eau disponible dans le béton.

Lorsque la réaction d'hydratation est arrêtée de façon prématurée à cause de l'évaporation de l'eau du béton dans les jours suivant le bétonnage, le béton va hériter de propriétés inférieures aux attentes. Le but de la cure est de s'assurer que le béton a toute l'eau nécessaire en bas âge afin que la réaction d'hydratation soit la plus efficace possible et que les contraintes internes associées au retrait soient les plus faibles possible.

Mentionnons que les notions relatives à la cure comprennent aussi celles se rapportant à la température du béton. Ces notions de température, pour les éléments coulés en place, sont traitées aux parties 4.3.7 « Bétonnage par temps chaud » et 4.3.8 « Bétonnage par temps froid » de ce chapitre. Pour ce qui est des éléments en béton préfabriqués, les notions de température sont traitées dans cette partie du manuel.

L'entrepreneur doit également prendre les précautions nécessaires pour éliminer les vibrations et les chocs transmis au béton tant que celui-ci n'a pas atteint 70 % de la résistance à la compression spécifiée à 28 jours. Les vibrations et les chocs sur un béton de faible résistance peuvent causer de la microfissuration et ainsi réduire la durabilité ou la résistance du béton. La résistance atteinte par le béton doit dans ce cas être évaluée par des cylindres maintenus dans les mêmes conditions de température que le béton de l'ouvrage. Le surveillant peut consulter la partie « Assurance de la qualité » en début de chapitre concernant ce point.

Toutes les causes de détérioration du béton frais ou récemment mis en place sont regroupées dans l'article 15.4.3.5.9, sauf une qui concerne le dynamitage (voir les articles 11.4.4.1.1 « Vitesses permises » et 11.4.4.1.2 « Contrôle et enregistrement des vibrations » du CCDG). Ce regroupement a été effectué pour s'assurer que le béton frais ne sera pas soumis à aucune cause de détérioration. Bien que le surveillant soit responsable de la surveillance des autres activités se produisant à proximité du béton frais ou récemment mis en place, il peut arriver que ce ne soit pas le cas, comme pour le dynamitage nécessaire pour la pose d'une conduite d'égout. Il doit alors aviser le chargé d'activité du Ministère afin que ce dernier entre en contact avec les personnes responsables de ces activités « externes » quelque temps à l'avance de la présence de béton frais à venir et des précautions qu'elles doivent prendre.

Les causes de détérioration du béton frais ou récemment mis en place sont la démolition d'éléments continus en béton à moins de 30 m, le battage ou le vibrofonçage des pieux (y compris la vibro-compaction et le vibro-remplacement) à moins de 30 m, la réalisation des emboîtures (portion dans le roc) des pieux-caissons, le compactage des matériaux à moins de 30 m et finalement la circulation sur les surfaces récemment bétonnées. Ces causes sont généralement bien connues et gérées adéquatement sauf celle concernant le compactage; en effet, il est important de comprendre qu'un remblayage hâtif (unités de fondation, bordures, etc.) ou qu'une pose précipitée d'enrobé à chaud près des bordures est aussi préjudiciable au béton qu'un dynamitage.

Le CCDG interdit la démolition d'éléments continus en béton à moins de 30 m du béton frais. Cette interdiction touche autant la démolition complète que la démolition partielle en vue de réparations. Elle ne s'applique toutefois pas aux éléments discontinus structuralement, comme par exemple, deux travées séparées par un joint de tablier. Ainsi, dans ce cas, un entrepreneur pourrait procéder à la démolition partielle du béton du dessus de la dalle dans une travée alors que du béton frais a été coulé dans la travée adjacente à moins de 30 m.

Le CCDG interdit également la circulation sur le béton frais sans préciser de quel type de circulation il s'agit. L'article du CCDG ne doit donc pas être interprété uniquement comme une interdiction de circuler avec des véhicules; le surveillant doit toutefois user de son jugement pour ce qui est de la circulation des ouvriers à pied, car une interdiction totale de circuler jusqu'à ce que le béton ait atteint 70 % de la résistance à 28 jours pourrait être considérée exagérée. Règle générale, il est de bon usage de tolérer la circulation des ouvriers à pied avec précaution lorsque le béton a suffisamment durci si ceux-ci doivent accéder à la dalle pour entretenir la cure ou les protections par temps froid. Selon les conditions, le surveillant pourra par la suite permettre graduellement, après quelques jours, la circulation des ouvriers et des équipements pouvant être manipulés manuellement, et finalement, la circulation des équipements de chantier. Cette dernière ne doit toutefois pas être permise avant l'atteinte du pourcentage de 70 % vérifié par cylindres témoins, et ce, sous aucun prétexte.

Finalement, il est également possible que le devis spécial prévoie un contrôle des ondes vibratoires lorsque certains types d'équipements, comme des vibrofonceurs ou des vibreurs pour la densification des sols, sont à l'œuvre. Il est important de mentionner que dans ce cas, le contrôle ne vise pas la protection du béton frais, mais plutôt la protection des sols dans le voisinage de la structure. Ces dernières exigences s'appliquent donc en tout temps (mais l'interdiction d'employer ces équipements tant que le béton n'a pas atteint la résistance de 70 % de la résistance à 28 jours s'applique également par le biais du CCDG).

Retrait du béton

Le retrait du béton consiste en une diminution volumétrique consécutive à l'hydratation du liant. Le béton est alors soumis à des contraintes internes à différents moments, que nous pouvons segmenter en trois périodes particulière : lors du bétonnage jusqu'à la prise initiale, de la prise initiale (au cours des premières heures qui suivent le bétonnage), jusqu'à quelques jours après la coulée et durant une période de temps qui peut s'étirer sur plusieurs mois par la suite. Chacune de ces périodes est associée à un type de retrait, soit le retrait plastique, le retrait endogène (parfois appelé retrait chimique) et le retrait de séchage. Si ces contraintes deviennent supérieures à la résistance en traction du béton, une fissure apparaît. Bien qu'il ne soit pas anormal de trouver des fissures fines dans tout élément construit en béton, et ce, quel que soit le type de béton employé, une cure mal réalisée peut accentuer le phénomène au point de réduire considérablement la durabilité de l'ouvrage.

Le retrait plastique trop important amène la formation de fissures généralement larges, de l'ordre de 2 à 4 mm, et de faible profondeur, normalement jusqu'à la barre d'armature la plus rapprochée de la surface. Ces fissures, qui ont souvent une trajectoire aléatoire et discontinue (les fissures peuvent aussi parfois s'orienter avec le sens du vent lors du bétonnage), peuvent se retrouver sur n'importe quel élément de béton, quel que soit le type de béton employé. Un béton de type XIII, qui a très peu d'eau de ressuage en raison de son faible rapport eau/liant, est cependant plus sensible au retrait plastique que les autres types de béton.

Puisque le retrait plastique est dû au séchage trop rapide de la surface du béton, un élément ayant de grandes surfaces exposées à l'air, comme les dalles, les trottoirs, les pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle, les épaulements des joints de tablier à plus d'une garniture, les assises des poutres et les revêtements en béton, y est plus sujet. La vitesse de séchage des surfaces, et donc l'ampleur du retrait plastique, dépend du taux d'évaporation du béton; plus la température du béton plastique et la vitesse du vent sont élevées, plus le taux d'évaporation l'est également. Le taux d'humidité relative de l'air ambiant influe aussi considérablement sur le séchage des surfaces; plus ce taux est bas, plus le séchage des surfaces est rapide. Une façon simple de réduire le retrait plastique est d'humidifier les surfaces dès que leur finition est terminée et, le cas échéant, de respecter les exigences du bétonnage d'une dalle, d'un trottoir ou d'une piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle par temps chaud.

Le retrait endogène trop important amène la formation de fissures très fines, la plupart du temps inférieures à 0,20 mm, mais de grande profondeur, parfois allant de part en part de l'élément comme dans le cas des glissières en béton. Dans le cas des bétons employés au Ministère, ce sont surtout les éléments en béton de type XIII qui peuvent présenter ce type de fissures.

Puisque le retrait endogène est dû à la diminution de la teneur en eau dans le béton par suite de l'hydratation du liant, il affecte surtout le béton lors des premiers jours suivant sa mise en place. L'intensité du retrait endogène est fonction de l'amplitude de la diminution de la teneur en eau à l'intérieur même du béton. C'est pourquoi un béton de type XIII est plus sujet au retrait endogène étant donné son faible rapport eau/liant. La seule façon de réduire le retrait endogène est de fournir de l'eau au béton dès que sa finition est terminée; bien que le fait d'empêcher l'eau de s'évaporer de la surface de béton soit louable, elle est généralement insuffisante pour contrer ce type de retrait. Une cure réalisée avec de l'eau consiste donc dans ce cas-ci au meilleur moyen de diminuer les effets de ce retrait.

Le retrait de séchage quant à lui est associé à la contraction du béton à la suite de l'évaporation de l'eau à partir des surfaces du béton exposées à l'air. Le retrait de séchage est donc associé à la diminution du taux d'humidité à l'intérieur de l'élément de béton. Ce phénomène est beaucoup plus lent que le retrait endogène, étant donné que le volume de béton soumis au séchage est plus faible; en effet, il est proportionnel à la surface exposée à l'air. Le retrait de séchage peut donc s'étendre sur une période de plusieurs mois à quelques années, selon l'épaisseur de l'élément en béton et les

conditions de température et d'humidité du milieu. Le retrait de séchage entraînera lui aussi une fissuration de grande profondeur, dont l'ouverture variera en fonction du type de béton, de l'intensité du ferraillage et du degré de retenue (ou d'empêchement) du retrait. Comme l'effet du retrait de séchage arrive après celui du retrait endogène, ce sont souvent les fissures formées initialement par le retrait endogène qui sont ouvertes davantage alors que survient le retrait de séchage.

Il faut donc conclure que la meilleure façon de contrer les effets des retraits plastique, endogène et de séchage du béton consiste, immédiatement après sa finition, à lui fournir de l'eau de façon à maintenir une pellicule d'eau en tout temps à sa surface au cours de la période intensive d'hydratation.

Exigences générales

Dans un monde idéal, la cure du béton devrait se poursuivre sur une période d'environ 28 jours. Par contre, en chantier, les contraintes de temps forcent à réduire cette durée. La cure de sept jours spécifiée dans le CCDG est donc un compromis entre ce qui est nécessaire pour obtenir un béton possédant d'excellentes propriétés et ce qu'il est possible de faire pour obtenir un béton ayant des propriétés acceptables. La période de sept jours de cure est donc une valeur minimale et en aucun cas elle ne doit être réduite. Il est même possible que la cure des surfaces non coffrées doit se poursuivre au-delà de la période de sept jours dans le cas des ponts, tabliers, murs de soutènement, ponceaux et dalles neufs (à l'exception des semelles, des dalles de transition et des joints de tablier à une garniture) afin d'avoir au moins 70 % de la résistance à la compression spécifiée à 28 jours au moment de l'arrêt de la cure. Cette exigence du CCDG est importante afin de maximiser la durabilité de l'ouvrage. Mentionnons tout de même que cette résistance est normalement obtenue après 7 jours de cure; il appartient au surveillant de s'en assurer en vérifiant la résistance obtenue par essai de compression sur un cylindre de béton témoin prélevé à cette fin lors du bétonnage et maintenu dans les mêmes conditions que le béton de l'ouvrage.

La cure du béton doit commencer immédiatement après la finition des surfaces et elle doit durer au moins sept jours consécutifs. Le surveillant doit insister pour que l'entrepreneur entreprenne la cure au fur et à mesure que la finition du béton s'effectue afin de réduire au minimum les problèmes de fissuration associés au retrait du béton et d'optimiser les propriétés associées à sa durabilité. Dans ce dernier cas, il ne faut pas oublier que les premiers jours suivant le bétonnage sont déterminants pour obtenir un béton durable. De plus, par temps chaud, un démarrage rapide de la cure à l'eau permet de refroidir le béton et de limiter aussi la fissuration.

Afin de s'assurer que l'entrepreneur fasse une bonne cure, le CCDG contient un texte relatif aux retenues à effectuer en cas de cure non conforme. Le but d'un tel texte n'est pas de soutirer de l'argent à l'entrepreneur, mais bien de convaincre un entrepreneur peu soucieux de commencer la cure à temps et de la poursuivre jusqu'à la fin de la période minimale exigée.

Il peut être tentant de cesser la cure dès que le béton a atteint la résistance à la compression à 28 jours exigée; il ne faut surtout pas faire cela, car les propriétés relatives à la durabilité du béton en seraient affectées. En effet, ces propriétés prennent plus de temps à se développer que celles relatives à la résistance à la compression. Le fait de rattacher la fin de la cure à l'atteinte d'une résistance risquerait aussi d'inciter l'entrepreneur à surdoser en ciment son mélange de béton, ce qui conduirait à davantage de fissuration. La durée de la cure est donc fixée à sept (7) jours (sauf pour le béton latex 15 %) et ce délai doit être respecté peu importe la période de l'année ou la résistance atteinte par le béton.

Bien que le maintien des coffrages en place ne soit pas considéré comme une méthode de cure, il assure une protection satisfaisante contre les pertes d'eau du béton. Les coffrages devraient donc demeurer en place le plus longtemps possible, idéalement pour toute la durée de la cure. Lorsque les coffrages sont retirés avant la fin de la période de cure, une autre méthode de cure doit être employée au fur et à mesure de l'enlèvement des coffrages et jusqu'à la fin de la période de cure spécifiée. Le surveillant doit insister pour que la méthode de cure appropriée soit appliquée au fur et à mesure de l'enlèvement des coffrages; en effet, il ne faut pas attendre d'avoir terminé l'enlèvement complet des coffrages d'un élément de pont avant d'appliquer la méthode de cure, car cela est néfaste pour le béton.

Mentionnons que la cure du béton latex 15 % (béton type XVI-15) doit être maintenue pour une période minimale de 24 heures. La cure de ce type de béton est beaucoup plus courte que pour tout autre type de béton afin de permettre à l'eau contenue dans le latex de s'évaporer et permettre ainsi la solidification du latex et en bout de ligne l'étanchéité du béton.

a) Méthodes de cure

Tous les matériaux nécessaires à la cure, y compris les toiles de fibres synthétiques, sont décrits à la norme 3501 du Ministère. Mentionnons que le surveillant doit insister pour que la toile absorbante utilisée soit de couleur blanche; cette couleur aide à atténuer les conséquences du rayonnement solaire sur la température du béton.

<u>Toiles absorbantes imbibées d'eau</u>

Cette méthode de cure consiste à fournir de l'eau au béton lors de la réaction d'hydratation.

Des toiles de fibres synthétiques imbibées d'eau sont utilisées pour maintenir la surface du béton humide. Elles sont recouvertes de feuilles imperméables pour ralentir l'évaporation de l'eau qu'elles contiennent. Des mesures doivent être prises pour que les feuilles ne soient pas soulevées par le vent, ce qui rendrait leur efficacité nulle. Une des mesures efficaces pour empêcher le vent de s'engouffrer sous les feuilles consiste à chevaucher les feuilles selon la direction de celui-ci tout en lestant les toiles à l'aide de pièces de bois. Il faut être prudent sur ce dernier point afin de ne pas marquer le

béton encore plastique; une bonne pratique consistant à attendre que le béton soit suffisamment durci avant d'y déposer les pièces de bois. De plus, toute feuille déchirée ou présentant des trous doit être immédiatement remplacée.

Tout au long de la cure, les toiles absorbantes doivent demeurer imbibées d'eau. À cette fin, un boyau perforé placé sous les feuilles imperméables au point haut de l'ouvrage, opérant en permanence, est souvent utilisé par les entrepreneurs. Dans le cas où une route ouverte à la circulation se trouve sous l'ouvrage, il faut réduire au minimum le ruissellement de l'eau sur cette route; par temps froid, des mesures additionnelles doivent être prises pour éviter la chute de glaçons. Cette méthode de cure est particulièrement intéressante par temps chaud, puisque l'eau, généralement plus froide, vient également refroidir la surface du béton.

La présence des feuilles imperméables est essentielle, car elles empêchent l'eau des toiles de s'évaporer. Il peut arriver qu'un entrepreneur veuille utiliser les toiles absorbantes sans utiliser de feuilles imperméables; cette pratique doit être refusée car il arrive presque toujours dans ces cas, que sur certaines zones, particulièrement aux extrémités, les toiles viennent à s'assécher par manque d'eau, causant ainsi une interruption de la cure.

Précisons qu'il existe cependant, depuis quelques années, un produit qui combine la toile de fibres synthétiques et la toile imperméable. Ce produit, appellé Ultracure, est généralement toléré en autant que l'aspect d'usage unique soit respecté.

La température de l'eau utilisée pour la cure du béton doit être supérieure à 10 °C; il est facile de réchauffer une eau trop froide au moyen d'un chauffe-eau, compte tenu des faibles quantités d'eau nécessaires pour la cure.

L'utilisation de l'eau d'un cours d'eau doit toujours être considérée avec précaution. Le CCDG exige que les caractéristiques de l'eau servant pour la cure soient les mêmes que les caractéristiques de celle employée pour le gâchage du béton. Certains cours d'eau peuvent montrer une eau de qualité et des essais peuvent permettre de valider cette exigence du CCDG. Il faut toutefois s'assurer, dans ces cas que la qualité de l'eau mesurée sera la même tout au long de la cure. Certains cours d'eau peuvent ainsi montrer une qualité d'eau très variable lorsque surviennent des pluies importantes ou encore, en milieu agricole, pendant les périodes d'épandage intensif de purin dans les champs. Il est donc recommandé dans ces cas, d'utiliser plutôt une réserve d'eau (sous forme de bassin temporaire ou de réservoir) prélevée du cours d'eau pour la cure. Il sera ainsi plus facile de maintenir une température adéquate pour l'eau.

Matériau de cure formant membrane

Cette méthode consiste à recouvrir, une fois les coffrages enlevés, toute la surface du béton d'un produit liquide qui réduit considérablement l'évaporation de l'eau.

Lors de l'emploi d'un matériau de cure formant membrane, il faut veiller à ce que le recouvrement de la surface soit complet, car même de petites zones sans matériau de

cure sont sujettes à l'évaporation de l'eau du béton. La membrane, une fois appliquée, doit présenter un aspect uniforme sur toute la surface de béton et ne doit pas laisser voir de marques ou de traînées.

L'utilisation d'un matériau de cure avec un colorant fugace, comme l'exige le CCDG, aide à s'assurer de l'uniformité lors de la pose et fait en sorte que les surfaces traitées ne seront pas tachées par le produit puisque ce dernier devient transparent en séchant. Il existe des matériaux de cure transparents à l'application et ceux-ci doivent être évités, car il est difficile de valider si toute la surface est traitée adéquatement. De même, il existe des matériaux pigmentés, blancs la plupart du temps, qui doivent être évités, car la surface du béton aura alors un aspect non esthétique

Précisons que les matériaux de cure formant membrane réduisent l'adhérence du béton plastique à un béton durci. Il ne faudrait pas, par conséquent, les utiliser lorsqu'un bétonnage subséquent est prévu contre la surface traitée, comme sur un joint de construction. Il en va de même pour les surfaces à recouvrir d'une membrane autocollante pour joints. Si un matériau de cure a été utilisé sur une telle surface, celui-ci doit être enlevé, avant de procéder au bétonnage ou à la pose de la membrane, au moyen d'un jet d'abrasif humide ou d'un jet d'eau haute pression.

b) Dessus de dalles, de trottoirs et de pistes cyclables

La cure des dalles, des trottoirs et des pistes cyclables est effectuée en deux étapes. Une première étape, appelée l'« humidification préalable à la cure », sert à fournir de l'eau au béton plastique alors qu'une seconde, appelée méthode de cure « Toiles absorbantes imbibées d'eau », sert à fournir de l'eau une fois le béton une fois la prise commencée.

Lors du bétonnage d'une dalle, une plate-forme de travail circulant à l'arrière de l'équipement de finition doit être exclusivement réservée à l'humidification et à la cure des surfaces.

<u>Humidification préalable à la cure</u>

L'humidification des surfaces est réalisée sur les dalles, les trottoirs et les pistes cyclables, car ces derniers sont très sujets à la fissuration due aux retraits plastique et endogène. Elle doit débuter dès que les ouvriers ont terminé la finition du béton, de manière à avoir la plus petite superficie possible de béton fini sans humidification. Pour une dalle, il est exigé au CCDG que la distance maximale entre l'arrière de l'équipement de finition et les dernières zones de béton non humidifiées soit de 6 m. Le surveillant se doit d'être vigilant et d'interpeller l'entrepreneur au besoin pour qu'il ralentisse le rythme des travaux de mise en place du béton si les ouvriers chargés de sa finition ne réussissent pas à respecter cette distance de 6 m.

Une fois la finition du béton terminée, il faut pulvériser de l'eau sous forme de fines gouttelettes sur le béton plastique de façon à le garder continuellement humide en

surface. L'équipement de pulvérisation employé ne doit pas endommager le béton plastique. L'utilisation d'un équipement manuel de faible pression est recommandée; le meilleur est celui qui sert à l'arrosage des végétaux dans les serres.

L'humidification préalable doit se faire sur toute la largeur de la dalle de façon uniforme, à partir de la passerelle de travail prévue à cette fin. L'entrepreneur doit éviter de faire l'humidification uniquement à partir des côtés extérieurs de la dalle, car cette pratique conduit à une humidification trop importante des côtés extérieurs à une humidification insuffisante de la partie centrale. Ces problèmes sont particulièrement importants sur les ponts de plus grande largeur.

Mentionnons que l'utilisation d'un grand nombre de jets montés sur une plate-forme de travail est à proscrire, car elle ne permet pas d'ajuster localement la quantité d'eau; pour avoir suffisamment d'eau à un endroit donné du profil transversal, il y a trop d'eau ailleurs. Ce genre d'équipement produit aussi un nombre considérable de gouttes qui nuisent au relief du béton. De même, l'utilisation d'un équipement manuel, ayant une pression supérieure à celle de l'eau provenant d'un aqueduc municipal, est déconseillée, car il est difficile de ne pas déborder sur les zones de dalle en cours de finition.

Il faut faire très attention à la quantité d'eau vaporisée; en effet, un apport trop important d'eau va permettre à celle-ci de s'égoutter, de couler ou de ruisseler sur le béton plastique endommageant ainsi la matrice du béton. Les particules fines de la pâte ont alors tendance à s'éroder sous le passage de l'eau. Par contre, un faible apport d'eau est insuffisant pour éviter les problèmes importants de fissuration dus au retrait du béton.

L'humidification doit être répétée aussi souvent que nécessaire jusqu'au début de la cure proprement dite. La fréquence peut être très élevée en fin d'après-midi et en début de soirée, de l'ordre de deux à trois fois par heure, mais parfois plus, alors qu'elle est beaucoup plus faible une fois le soleil couché. Un béton plastique suffisamment humecté a un aspect luisant, très visible sous les projecteurs utilisés lors du bétonnage de nuit.

Les ouvriers effectuant l'humidification doivent éviter de fermer ou d'ouvrir l'équipement de pulvérisation au-dessus de la surface de béton plastique afin d'empêcher que les gouttes endommagent le relief du béton. Pour les mêmes raisons, ils doivent aussi éviter de mouiller la plate-forme de travail.

Mentionnons finalement que pour un pont assez long, le surveillant devrait inciter l'entrepreneur à installer une conduite d'amenée d'eau, connectée à un aqueduc municipal ou à un camion-citerne, de chaque côté du pont avec des sorties installées de place en place pour faciliter le travail des ouvriers.

<u>Cure (toile absorbante imbibée d'eau)</u>

La cure au moyen de la méthode « Toiles absorbantes imbibées d'eau » doit débuter immédiatement après que l'entrepreneur a mis fin à l'humidification préalable à la cure.

Il est possible, lors de l'installation des toiles, que le béton ne soit pas tout à fait durci. Il devrait cependant avoir débuté sa prise de façon à ce que la surface ne soit pas marquée par le dépôt des toiles. Les ouvriers affectés à la pose des toiles doivent circuler à l'extérieur des surfaces de béton. Une fois les toiles déposées sur le béton, il faut éviter de les déplacer à nouveau, car il est possible de marquer le béton. Ces précautions sont très importantes parce qu'il est très difficile de réparer de façon durable les dommages au relief du béton. Le surveillant doit donc veiller à ce que les ouvriers chargés des travaux de cure soient bien au fait des risques qui y sont associés.

Les toiles doivent être déposées avec soin sur la surface de béton. Afin d'éviter d'endommager celui-ci par des marques de gouttes d'eau, les toiles devraient être sèches au moment de la pose; par contre, une fois posées, elles doivent être immédiatement imbibées d'eau afin d'éviter qu'elles n'absorbent l'eau du béton.

Ce travail de saturation peut être fait avec l'équipement ayant servi à l'humidification préalable à la cure. À la suite de la saturation des toiles, celles-ci doivent être recouvertes de feuilles imperméables; il serait sage d'attendre le durcissement du béton avant de procéder à la pose des feuilles et éventuellement la pose d'éléments de lestage pour éviter le décollement dû au vent.

Si l'entrepreneur veut utiliser un boyau perforé opérant en permanence sous les toiles imperméables pour assurer le mouillage de ces dernières, il lui faut attendre que le béton soit suffisamment durci pour éviter qu'il soit endommagé par l'eau sortant sous pression. Il faut aussi vérifier de temps à autre que le système fonctionne bien sur l'ensemble des surfaces. Si l'entrepreneur n'utilise pas un boyau perforé, il lui faut être beaucoup plus vigilant et s'assurer au moins toutes les 12 heures que les toiles sont imbibées d'eau. Mentionnons que des toiles humides, mais non imbibées d'eau sont insuffisantes pour assurer une cure efficace, d'où l'exigence du CCDG relative à la présence d'une mince couche d'eau sur le béton sous les toiles humides.

Surfaces coffrées

Si les coffrages sont enlevés avant la fin de la période de cure, la cure des surfaces décoffrées consiste à utiliser la méthode de cure « Matériaux de cure formant membrane » si l'entrepreneur ne désire pas poursuivre la cure au moyen de toiles absorbantes imbibées d'eau.

c) Autres éléments

Pour la cure des surfaces non coffrées de tous les éléments autres que ceux des dalles, trottoirs et pistes cyclables, l'exigence de l'humidification préalable ne s'applique qu'après un délai de deux heures suivant la finition. Cette humidification est réalisée en utilisant le même type d'équipement et en suivant les mêmes précautions que pour les dalles (voir la section précédente). Suivant l'humidification, une cure avec toiles absorbantes imbibées d'eau doit être effectuée sur ces surfaces. Précisons par contre que, si cette cure avec toiles imbibées est débutée en deçà du délai de deux heures prévu pour l'humidification, cette dernière étape est omise.

Le CCDG prévoit un délai de deux heures avant de débuter l'humidification pour ces surfaces, mais rien n'empêche l'entrepreneur de réaliser une humidification préalable avant ce délai s'il le juge nécessaire. Ce peut être le cas, entre autres, pour des éléments comportant une grande surface non coffrée, comme les semelles, particulièrement lorsqu'elles sont coulées par temps chaud, sec ou venteux. Le surveillant peut d'ailleurs suggérer cette pratique à l'entrepreneur au moment de l'autorisation de bétonnage, si de telles conditions sont prévues.

Si les coffrages sont enlevés avant la fin de la période de cure, la cure des surfaces décoffrées consiste à utiliser la méthode de cure « Matériaux de cure formant membrane » si l'entrepreneur ne désire pas poursuivre la cure au moyen de toiles absorbantes imbibées d'eau.

4.3.5.10 Cure des éléments préfabriqués en béton

La cure des éléments en béton préfabriqués est la même que celle exigée pour les éléments coulés en place, sous réserve des différences mentionnées ci-après, la principale différence étant la durée de la cure, qui peut être beaucoup plus courte que les sept (7) jours exigés pour les éléments coulés en place.

Dans le cas des poutres en béton précontraint préfabriqué, la cure se résume à peu de choses, soit à la mise en place de feuilles imperméables sur le dessus des poutres, les feuilles sont enlevées en même temps que les coffrages. La cure réduite de ces éléments est possible étant donné que l'application de la précontrainte améliore grandement les propriétés du béton à résister efficacement à la pénétration des chlorures.

Dans le cas des autres éléments préfabriqués, la durée de la cure est variable selon la méthode de travail choisie par le fabricant :

- maturométrie : un minimum de 140 °C-jours;
- la résistance à la compression à 28 jours;
- une durée de cure de 7 jours et une résistance à la compression d'au moins 70 % de f'c.

Ces méthodes sont considérées comme équivalentes en ce qui concerne la durabilité de l'ouvrage. Quelle que soit la méthode de travail choisie par le fabricant, laquelle devrait être fixée lors de la réunion préalable à la fabrication, la cure est arrêtée qu'après confirmation, soit par le suivi de la température du béton ou par le bris d'un cylindre témoin, que les valeurs visées sont bien obtenues.

Mentionnons que le recours à une cure accélérée ne soustrait pas le fabricant à l'obligation de respecter la durée de la cure selon une des trois méthodes présentées plus haut.

Les autres exigences du CCDG quant à la température des coffrages et du béton ne sont pas abordées ici, car elles sont appliquées par le représentant du surveillant spécialement formé à cette fin et présent à l'usine. Mentionnons tout de même que tout béton dépassant une température de 60 °C (une tolérance de 10 °C est tout de même indiquée au CCDG) doit être rejeté, car ce béton pourrait avoir une durabilité réduite à la suite de l'apparition éventuelle d'aiguilles microscopiques appelées « ettringite secondaire ».

Dans le cas des poutres, la température du béton doit être maintenue au-dessus de 10 °C jusqu'à ce qu'il atteigne la résistance à la compression spécifiée à 28 jours; l'entrepreneur doit au besoin construire un abri de type 2 s'il n'est pas possible de garder les éléments poutres à l'intérieur de l'usine. Cette dernière exigence est nécessaire, car le béton de type VIII dont la température a glissé sous 10 °C ne fera plus aucun gain de résistance lorsque la température sera plus élevée. Finalement, et pour les mêmes raisons, il ne faut pas que les poutres soient incorporées à l'ouvrage avant que le béton n'atteigne la résistance à la compression spécifiée à 28 jours; agir autrement peut entraîner l'endommagement prématuré, voire la ruine de l'ouvrage.

Le CCDG spécifie aussi que tous les éléments, y compris les poutres, ne doivent pas subir un écart de température de plus de 20 °C entre leur température de surface et la température ambiante. Cette exigence s'applique non seulement pendant la cure, mais aussi après celle-ci. Le moment le plus critique pour le respect de cette exigence est évidemment lorsque les pièces sortent de l'usine et que la température extérieure est fraîche. Une façon d'éviter ce problème, outre attendre que la température extérieure se réchauffe, consiste à isoler l'élément sous un abri temporaire au moment de sa sortie d'usine. La température ambiante peut alors être considérée comme étant celle à l'intérieur de l'abri. Cette exigence concernant l'écart maximal de température a pour but d'éviter les phénomènes de « chocs thermique ». Plus de détails sur ce phénomène sont donnés à la section « Bétonnage par temps froid ».

Le surveillant doit finalement s'assurer que les éléments de murs et de ponceaux ne soient pas transportés de l'usine vers le chantier avant la fin de la période de cure. Rappelons que la durée de la cure est établie selon l'atteinte d'un des trois critères de 140 °C-jours, 7 jours + 70 % de résistance ou l'atteinte de la résistance à 28 jours (f'c). Pour la majorité des éléments, les fabricants utilisent le critère de la résistance à 28 jours du béton, ce qui signifie que cette résistance doit être atteinte avant l'expédition au chantier; tout élément transporté avant la fin de la période de cure doit être refusé.

Le surveillant doit inspecter les éléments dès leur arrivée au chantier afin de déceler toute anomalie ou tout défaut ayant pu être occasionné par le transport. Si des défauts sont constatés ou si des réparations d'envergure sont visibles, il faut alors communiquer avec le représentant du surveillant en usine afin de vérifier si les défauts étaient présents avant l'expédition ou si les réparations ont été autorisées.

4.3.5.11 Inspection, correction et nettoyage des surfaces

Immédiatement après la cure, le surveillant doit vérifier le profil du dessus d'une dalle avec une règle de 3 m; la règle de 3 m est un outil de mesure qui est régulièrement employé pour mesurer les irrégularités suite à la pose des enrobés. Toute irrégularité ou dépression excédant 5 mm dans 3 m en un point quelconque de la dalle doit être traitée selon l'article 7.10 « Travaux défectueux » du CCDG. La solution correctrice proposée par l'entrepreneur doit être analysée par le surveillant, en collaboration avec le concepteur, de façon à s'assurer que l'épaisseur du recouvrement de béton au-dessus d'armatures ne soit pas réduite de manière indue.

Toute proposition consistant, par exemple, à mettre de l'enrobé à chaud de correction ne doit pas être retenue, notamment à cause des problèmes de durabilité réduite de la membrane d'étanchéité. Il arrive aussi parfois que l'entrepreneur propose l'utilisation d'un produit à base de bitume avant la pose de la membrane pour combler les creux observés dans la dalle. Cette proposition doit être rejetée, car le produit bitumineux reste malléable après sa pose, ce qui fait que le profil des zones traitées ne sera pas adéquat après l'application de la membrane et la compaction de l'enrobé, conduisant ainsi à des problèmes de durabilité.

Le surveillant ne doit finalement pas confondre le problème de profil de la dalle avec celui relié au relief des surfaces qui est traité au chapitre 10 « Membrane d'étanchéité et membrane autocollante pour joints » de ce manuel.

<u>Inspection</u>

L'étape d'inspection des surfaces s'applique aux surfaces réparées avec ou sans surépaisseur.

À la suite de la cure du béton, les surfaces réparées doivent être inspectées par le surveillant au moyen d'un marteau de géologue ou de maçon. Le but de cette vérification est de détecter tout manque d'adhérence de la réparation avec le substrat, dans le cas d'une réparation sans surépaisseur, ou tout vide dans le cas d'une réparation avec surépaisseur. Ce dernier cas est, par contre, plutôt rare et peut surtout se produire lorsque du béton a été mal consolidé.

L'entrepreneur est tenu de fournir l'accès aux surfaces réparées aux fins de vérification. Le surveillant devrait utiliser les mêmes moyens d'accès que ceux employés par les ouvriers pour l'enlèvement des coffrages.

Comme l'évaluation de l'adhérence ou la présence des vides se fait en écoutant le bruit émis par le marteau contre la surface bétonnée, il est bien important que cette vérification se fasse dans un environnement comportant le moins de bruit possible. Il est également essentiel que la surface sondée ne soit pas gelée. Les manques d'adhérence et les vides sont dans cette circonstance comblés de glace, ce qui empêche l'émission du son creux caractéristique d'un défaut.

Lorsqu'un manque d'adhérence ou un vide sont détectés, la surface de béton est marquée. Les surfaces marquées doivent être réparées à nouveau par l'entrepreneur, y compris une zone de 150 mm au pourtour du défaut observé afin d'être bien sûr d'englober la totalité du défaut dans la nouvelle réparation.

Correction

La correction des surfaces s'applique à toutes les surfaces de béton des éléments neufs ou des réparations, qu'elles soient visibles sur l'ouvrage final ou non.

Toutes les surfaces de béton doivent être corrigées aussitôt après la fin de la cure. Cette exigence du CCDG s'impose, car plus vite la correction est faite, meilleure sera l'adhérence du matériau de corrigées au béton. Mentionnons que si le décoffrage est effectué avant la fin de la période de cure, la poursuite de la cure prime sur la correction des surfaces afin de ne pas altérer les caractéristiques de durabilité du béton; par conséquent, la correction des surfaces est toujours effectuée après la période de cure même si le décoffrage est réalisé avant la fin de celle-ci.

Le report de la correction des surfaces à la fin du projet est rarement une bonne décision, puisque cela coïncide souvent avec la fin de la saison et les problèmes qui y sont associés, notamment une température du substrat rarement compatible avec la pose du matériau de réparation. Si le décoffrage se fait par temps froid, le fait d'agir rapidement permet aussi de réaliser les réparations lorsque la température du béton est suffisamment élevée.

Les réparations sont effectuées de façon à remettre les surfaces de béton endommagées dans la même condition que le béton des surfaces environnantes.

Toutes les aspérités, les arêtes rugueuses, les dénivellations de surfaces attribuables à un mauvais alignement des coffrages, entre eux ou par rapport au béton existant dans le cas des réparations avec coffrages sans surépaisseur, et les bavures de béton doivent être soigneusement meulées. Les bavures de laitance, fréquentes entre deux panneaux de coffrage, doivent être meulées elles aussi.

Tous les cônes en plastique des attaches de coffrage doivent être retirés de la surface du béton. Les surfaces des trous laissés dans le béton par l'enlèvement des cônes doivent être nettoyées avec une brosse métallique ou avec un jet d'abrasif afin d'augmenter leur rugosité. Ce dernier point est important pour améliorer l'adhérence du mortier cimentaire au béton.

Les trous laissés par l'enlèvement des cônes et des dispositifs de levage des éléments préfabriqués ainsi que les cavités ayant entre 6 et 12 mm de profondeur résultant notamment du bullage doivent être comblés de mortier cimentaire. Il est peu utile de combler les cavités de moins de 6 mm, car cela n'a pas d'impact significatif sur la durabilité de l'ouvrage. Le bullage est causé par l'évaporation de l'eau qui s'est accumulée contre les coffrages lors des opérations de vibration du béton; la taille de ces bulles dépasse rarement 12 mm.

Les cavités dont la profondeur excède 12 mm sont souvent causées par un manque de pâte à la surface du béton; lorsque plusieurs cavités se retrouvent près les unes des autres, elles sont désignées sous le nom « nid de cailloux ». Ces défauts, qui sont la plupart du temps causés par un manque de consolidation du béton, doivent être traités sur une base du « cas par cas ». Il en est de même pour les coins brisés, notamment ceux des épaulements de joints de tablier à plus d'une garniture, car la réparation au mortier sera peu durable. Dans tous ces cas, le surveillant se doit de consulter le concepteur lorsque des défauts importants de cette nature sont présents sur les surfaces. Dans certains cas, il ne faut pas hésiter à exiger une réparation avec coffrages sans surépaisseur effectuée selon les exigences applicables à ce type de réparation.

Les solutions qui consistent à appliquer de grandes surfaces de mortier en minces couches ou à appliquer localement un mortier à de grandes profondeurs doivent être refusées par le surveillant car ces réparations ne seront pas durables ou constitueront un chemin d'accès privilégié pour les chlorures. Les mortiers ont en effet une porosité beaucoup plus grande que celle des bétons et les minces couches de mortier ont tendance à décoller rapidement des surfaces de béton après quelques années d'exposition.

Le mortier utilisé par l'entrepreneur doit être l'un de ceux mentionnés à la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

Il faut veiller à ce que le mortier choisi ait une résistance à la compression d'au moins 20 MPa à 24 heures (afin que le gain de résistance soit le plus rapide possible étant donné qu'aucune cure n'est effectuée) et qu'il soit de couleur gris béton afin de préserver l'esthétique de l'ouvrage. Lorsque l'ouvrage est situé en milieu urbain et qu'il est important de préserver l'aspect esthétique, des essais à petite échelle peuvent être réalisés préalablement à la correction de manière à valider la couleur. Dans ces cas, le fournisseur de mortier peut être consulté quant aux possibilités d'ajustement de la couleur.

Afin d'éviter que le mortier de correction ne gèle, le rendant ainsi peu durable, le CCDG exige d'avoir une température d'au moins 5 °C lors des 24 heures suivant l'application du mortier; le surveillant doit faire cesser la pose du mortier advenant le cas où des prévisions sous cette température sont prévues. Le surveillant doit aussi s'assurer que le gâchage et la pose du mortier sont exécutés en conformité avec les recommandations du fabricant du mortier.

Mentionnons qu'il est indiqué au CCDG que les trous créés par l'enlèvement des tiges filetées des selles commerciales utilisées pour soutenir les coffrages de dalle sur poutres doivent être comblés au moyen d'un mastic d'étanchéité; cette exception est nécessaire compte tenu de la difficulté à nettoyer le trou de la graisse utilisée sur les tiges et surtout du fait qu'il est à peu près impossible au mortier de se maintenir sur le pourtour en acier des selles.

Les travaux relatifs à la pose du mortier sont souvent considérés comme peu importants par l'entrepreneur et parfois aussi par le surveillant. Les ouvriers sont donc peu soucieux de la qualité de leurs travaux, notamment quant au débordement autour des trous ou des cavités à combler. Le débordement du mortier est un problème courant, facile à éviter, et combien dévastateur pour l'esthétique d'un ouvrage. Il n'est pas nécessaire de réaliser une cure une fois le mortier mis en place.

Précisons que, pour le cas spécifique des cavités des dispositifs de levage des éléments préfabriqués, comme les murs et ponceaux, le devis spécial spécifie quelques mortiers acceptés à cette fin. Le surveillant doit s'en tenir à cette liste, car ces mortiers contiennent un adjuvant au latex, ce qui leur confère une meilleure adhérence et une imperméabilité supérieure aux chlorures. Ces propriétés supérieures sont nécessaires étant donné le très faible recouvrement de mortier sur ces éléments.

La correction des surfaces est souvent considérée à tort comme une opération cosmétique. Outre cet aspect important, elle améliore également la résistance de l'élément de pont contre les infiltrations d'eau et d'agents agressifs, ce qui augmente par le fait même la durée de vie du pont. C'est pour cette raison que le CCDG exige que toutes les surfaces de béton soient corrigées, même celles situées sous la surface du sol.

Dans le cas où des ouvertures temporaires ont été prévues à la partie supérieure des coffrages pour faciliter le bétonnage, comme c'est souvent le cas lors de travaux de réparation, ces ouvertures peuvent être démontées le lendemain du bétonnage et le béton de surplus enlevé au moyen d'un marteau et d'un ciseau manuels jusqu'à une distance d'environ 5 mm du profil final de la surface de béton. Cette épaisseur de 5 mm doit être meulée jusqu'au niveau des surfaces de béton environnantes. Ces exigences des plans s'imposent afin d'harmoniser au mieux les surfaces réparées avec les surfaces environnantes.

Pose d'une membrane autocollante sur éléments fissurés et les joints de construction

Une fois l'enlèvement des coffrages d'une culée, d'une béquille de portique ou d'un mur de soutènement coulé en place effectué, le surveillant doit inspecter soigneusement les surfaces décoffrées afin d'y déceler les fissures. Les fissures détectées doivent être recouvertes d'une bande de membrane autocollante comme cela est demandé au CCDG (côté remblai, bande de 300 mm, etc.) sur les surfaces à remblayer à l'arrière et à l'avant de ces éléments. Cette façon de faire permet d'éviter tout écoulement d'eau à travers l'élément de béton et, en conséquence, permet d'augmenter sa durée de vie. La même exigence s'applique aux joints de construction des éléments, qu'ils soient prévus aux plans ou non.

Mentionnons que le CCDG ne spécifie pas d'ouverture minimale pour la largeur des fissures devant être recouvertes de membrane, mais la pratique veut que les fissures visibles lors d'une inspection sommaire soient ainsi recouvertes.

Le surveillant doit référer au chapitre 10 « Membrane d'étanchéité et membrane autocollante pour joints » de ce manuel pour plus d'information concernant la membrane autocollante pour joints.

Nettoyage

Le nettoyage s'applique à l'ensemble des surfaces de béton qui ont été salies lors de la construction; en effet, comme le mortier utilisé à l'étape de la correction a presque toujours tendance à former des coulisses le long de l'ouvrage, le nettoyage doit, la plupart du temps, être fait sur l'ensemble des surfaces non remblayées. Il est à noter que le nettoyage s'applique aussi aux surfaces d'acier comme celles des poutres.

Une fois l'ensemble des travaux complété et après un délai de trois jours suivant la correction des surfaces, l'entrepreneur doit nettoyer les surfaces de béton et d'acier pour enlever les bavures ou les éclaboussures de mortier ou de béton ainsi que les taches de rouille sur l'ensemble de l'ouvrage. Le délai de trois jours vise, entre autres, à éviter que le nettoyage endommage le mortier fraîchement posé ou qu'il soit repoussé à la toute fin des travaux par l'entrepreneur.

La réalisation du nettoyage est nécessaire afin que l'ouvrage, une fois complété, soit visuellement uniforme. Le surveillant doit porter une attention particulière au nettoyage des poutres à la suite du bétonnage de la dalle.

Dans le cas des surfaces de béton attenant à un coffrage qui a été recouvert d'une doublure de coffrages, mentionnons que le CCDG exige que le nettoyage soit fait au moyen d'un jet d'eau sous pression. Cette exigence vise à réduire au minimum l'apparition de vides à la surface du béton.

4.3.5.12 Finition du béton durci

La finition du béton durci consiste essentiellement à enlever une mince couche de pâte à la surface du béton. Trois degrés de finition décrits dans le CCDG peuvent être réalisés : léger, moyen et profond. À moins d'indication contraire dans le devis spécial, le fini à utiliser est le degré « léger ».

Contrairement à la correction des surfaces, la finition du béton durci doit être mentionnée dans le devis spécial pour qu'elle doive être effectuée.

La finition du béton durci est généralement utilisée dans un but esthétique autant sur un pont neuf que sur un pont existant. Dans ce dernier cas, il peut parfois s'avérer intéressant de réaliser une uniformisation de la texture et de la couleur d'un pont, en tout ou en partie, ayant subi plusieurs réparations éparses avec coffrages sans surépaisseur.

La finition du béton durci est réalisée au moyen d'un jet d'eau haute pression ou par projection d'abrasif humide. Le jet d'abrasif sec est interdit depuis le renforcement des exigences de santé et sécurité relatives à la silice cristalline libérée dans l'air; les résultats attendus sont par contre demeurés les mêmes.

Une fois la finition du béton durci terminée, il faut ensuite débarrasser la surface de tout débris au moyen d'un jet d'eau sous pression. En effet, les surfaces environnantes sont salies par la projection de grains de liant non hydratés ainsi que des poussières et du sable lors des opérations. Bien que ce que l'on pourrait appeler « second nettoyage » puisse à première vue sembler superflu, il est en réalité très important afin de s'assurer d'obtenir l'aspect esthétique recherché.

Il convient ici de différencier deux termes utilisés dans le CCDG : jet d'eau sous pression et jet d'eau haute pression. Les caractéristiques du jet d'eau sous pression étant définies dans le CCDG, les résultats attendus sont peu explicites. Il s'agit en fait d'enlever ce qui peut être enlevé avec ce type d'équipement. À l'inverse, les caractéristiques du jet d'eau haute pression ne sont pas définies dans le CCDG; par contre, les résultats attendus sont très explicites. Il s'agit en fait d'utiliser un équipement de puissance suffisante pour obtenir les résultats attendus. Il est possible, quoique peu fréquent, que le jet d'eau défini comme un jet d'eau sous pression soit en mesure de produire ces résultats sur un ouvrage donné.

4.3.6 Imperméabilisation et enduit de surface

4.3.6.1 Imperméabilisation du béton

L'imperméabilisation du béton consiste à sceller la surface de celui-ci, ce qui a pour résultat d'empêcher la pénétration de l'eau et des agents agressifs qu'elle contient à l'intérieur du béton. L'imperméabilisation du béton est généralement effectuée sur des surfaces de béton d'un certain âge, mais qui sont à l'état neuf ou endommagées ou fissurées que légèrement, afin d'en prolonger la vie utile. Si les surfaces sont trop endommagées, ce genre d'intervention est inutile, car il est trop tard. Le surveillant se doit de consulter le concepteur s'il pense que les surfaces sont trop endommagées.

Lorsqu'un imperméabilisant doit être posé sur un nouveau béton, il est exigé au CCDG qu'un délai minimal de 28 jours suivant le bétonnage avant d'en effectuer la pose. Cette exigence s'impose à cause du silane contenu dans l'imperméabilisant qui, pour être efficace, doit réagir avec la chaux provenant de l'hydratation du liant, d'où le délai demandé. Un imperméabilisant posé avant la fin du délai de 28 jours risque donc de ne pas être très efficace.

L'application d'un imperméabilisant nécessite une surface de béton propre et libre de tout matériau de cure formant membrane, de toute laitance, huile ou autre saleté. À cette fin, un nettoyage au moyen d'un jet d'abrasif humide ou d'un jet d'eau haute pression doit être effectué sur la surface à imperméabiliser moins de sept jours avant l'application. Le jet d'abrasif sec est interdit depuis le renforcement des exigences de santé et sécurité relatives à la silice cristalline libérée dans l'air; les résultats attendus sont par contre demeurés les mêmes. De plus, l'enduit existant recouvrant le béton qui contient des fibres d'amiante doit être enlevé selon la réglementation en vigueur; la présence de cet enduit est normalement indiquée dans le devis spécial.

Une fois le nettoyage au moyen d'un jet d'abrasif humide ou d'un jet d'eau haute pression est terminé, il faut débarrasser la surface de tout débris au moyen d'un jet d'eau sous pression. En effet, les surfaces environnantes sont salies par la projection de grains de liant non hydratés ainsi que des poussières et du sable lors des opérations. Bien que ce que l'on pourrait appeler « second nettoyage » puisse à première vue sembler superflu, il est en réalité très important afin de s'assurer d'obtenir l'aspect esthétique recherché.

Il convient ici de différencier deux termes utilisés dans le CCDG : jet d'eau sous pression et jet d'eau haute pression. Les caractéristiques du jet d'eau sous pression étant définies dans le CCDG, les résultats attendus sont peu explicites. Il s'agit en fait d'enlever ce qui peut être enlevé avec ce type d'équipement. À l'inverse, les caractéristiques du jet d'eau haute pression ne sont pas décrites dans le CCDG; par contre, les résultats attendus sont très explicites. Il s'agit en fait d'utiliser un équipement de puissance suffisante pour obtenir les résultats attendus. Il est possible, quoique peu fréquent, que le jet d'eau défini comme un jet d'eau sous pression soit en mesure de donner ces résultats sur un ouvrage donné.

Les deux « nettoyages » cités précédemment doivent être réalisés entre sept jours et 24 heures avant l'application de l'imperméabilisant. Le délai de sept jours est nécessaire afin d'éviter de nettoyer trop à l'avance les surfaces qui pourraient alors se salir à nouveau. Le délai de 24 heures est nécessaire, quant à lui, pour permettre le séchage du béton afin de ne pas nuire à la pénétration du produit.

L'imperméabilisant peut réagir chimiquement lorsque mis en contact avec un produit bitumineux. Il faut donc protéger efficacement de toute éclaboussure un enrobé à conserver. Les règles de bonne pratique conviennent également de protéger les matériaux autres que cimentaires, comme les conduits en plastique ou des éléments métalliques, afin que ces derniers ne soient pas souillés lors de l'application.

L'imperméabilisant doit être appliqué à raison d'un taux de 0,33 l/m² de surface. Il se peut que l'application de cette quantité d'imperméabilisant en une seule couche ne soit pas possible. Si un surplus d'imperméabilisant s'écoule à la surface du béton à la suite d'un essai réalisé au taux de 0,33 l/m², les travaux doivent être faits en deux couches. Le délai maximal entre chaque couche ne devrait pas dépasser une heure afin d'éviter le séchage de l'imperméabilisant déjà posé. Si le séchage des surfaces survient avant l'application de la deuxième couche, il est probable que l'efficacité de cette dernière sera très limitée.

Les imperméabilisants sont définis de façon générale à la norme 3601 du Ministère. Il faut surtout s'assurer que le produit proposé par l'entrepreneur apparaît à la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

Compte tenu de l'impossibilité d'évaluer la perte d'efficacité si les surfaces traitées sont soumises à la pluie ou à des éclaboussures avant la fin de la période de protection prévue dans le CCDG, il faut prendre les précautions nécessaires pour protéger adéquatement les surfaces.

Les imperméabilisants peuvent être employés en combinaison avec les enduits de surface dont les caractéristiques sont données à la section suivante. Il convient de préciser que dans ces cas, l'imperméabilisant est posé en premier lieu, car il doit pénétrer dans le béton pour être efficace.

4.3.6.2 Enduit de surface

L'enduit de surface est un matériau posé en faible épaisseur sur les surfaces de béton existantes afin principalement d'améliorer l'esthétisme d'un ouvrage.

La norme 31101 du Ministère classe les enduits de surface en deux catégories selon leur efficacité d'imperméabilisation : les enduits de surface standards (type 1) et les enduits de surface à haut pouvoir imperméabilisant (type 2).

Le choix du type d'enduit à appliquer est indiqué dans le devis spécial. Lorsqu'un enduit standard est exigé, un enduit à haut pouvoir imperméabilisant peut bien entendu être utilisé en équivalence, puisque ce dernier possède des caractéristiques supérieures. Par contre, il faut éviter de substituer la pose d'un imperméabilisant utilisé en combinaison d'un enduit de surface standard par la pose d'un enduit à haut pouvoir imperméabilisant seul. Bien que cette dernière catégorie d'enduit démontre une certaine efficacité à imperméabiliser le béton, elle demeure moins efficace que l'imperméabilisant.

La liste des enduits de surface de chaque catégorie acceptés selon la norme 31101 apparaît à la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

Aucun enduit ne doit être posé sur les tabliers de type dalle épaisse, les colonnes, les chevêtres (sur colonnes ou en porte-à-faux) et les poutres (à l'exception de la face extérieure et de la semelle inférieure des poutres de rive). Cette exigence imposée au concepteur est importante, car il faut que le Ministère puisse déceler toute éventuelle fissure sur ces éléments de pont. Si les plans et devis sont en contradiction avec ce qui précède, le surveillant se doit de contacter le concepteur pour s'assurer qu'il doit vraiment procéder comme prévu aux plans et devis.

Lorsqu'un enduit de surface standard est employé en combinaison avec un imperméabilisant, un délai minimal de 24 heures et d'au plus 72 heures doit être prévu entre la pose de l'imperméabilisant et l'enduit de surface afin de permettre la cure de l'imperméabilisant et d'éviter que les surfaces ne se salissent entre les deux opérations. Le surveillant doit vérifier que l'imperméabilisant et l'enduit de surface proposés par l'entrepreneur sont compatibles.

Dans le cas où l'enduit de surface est employé seul, il faut que les surfaces à recouvrir soient nettoyées de la manière indiquée pour la pose de l'imperméabilisant. Dans le cas de surfaces récemment bétonnées ou recouvertes de béton projeté, l'enduit doit être posé après un délai minimal de 14 jours à la suite du bétonnage ou de la pose du béton projeté. L'entrepreneur doit procéder aux mêmes nettoyages, et dans les mêmes délais que ceux prévus avant la pose de l'imperméabilisant à béton.

Dans tous les cas, l'acier devenu apparent à la suite du nettoyage des surfaces doit être recouvert d'un enduit protecteur pour armature; la description de ce dernier apparaît dans le devis spécial. Cette exigence du devis spécial vise à retarder le plus possible l'apparition de taches de rouille sur les surfaces recouvertes d'un enduit.

L'enduit doit être posé au moyen d'un pistolet afin d'obtenir une épaisseur uniforme même à l'intérieur des trous et autres défauts de la surface.

Les produits acceptés par le Ministère pour cet usage sont tous du type sablé afin d'éviter d'avoir des surfaces brillantes peu aptes à cacher les défauts de profil des surfaces. Les travaux sont réalisés en deux couches parce qu'il est impossible de faire la pose en une seule couche sans avoir des coulisses et des bavures sur les surfaces. En plus d'être inesthétiques, ces défauts laissent des surfaces ayant une épaisseur insuffisante de matériau. De plus, l'application en deux couches permet de corriger certains défauts qui pourraient survenir lors de la pose de la première couche.

Tout comme pour l'imperméabilisant, les règles de bonne pratique conviennent de protéger les matériaux autres que cimentaires, comme les conduits en plastique ou des éléments métalliques, afin que ces derniers ne soient pas souillés lors de l'application. Il faut aussi protéger l'enduit de surface contre les intempéries et le gel pendant les 12 heures suivant sa pose. Cette exigence s'impose afin d'éviter le lessivage et l'arrêt de l'hydratation du matériau.

4.3.7 Bétonnage par temps chaud

Le béton mis en place par temps chaud est très sensible aux retraits plastique et endogène et, par conséquent, à l'apparition de fissures. Il faut se référer à la section 4.3.5.9 « Cure des éléments en béton coulés en place » de ce chapitre pour des informations générales concernant le retrait du béton. Les propriétés du béton plastique et durci peuvent être altérées lorsque le bétonnage se fait par temps chaud, notamment quant à la perte plus rapide de l'affaissement, au temps de prise plus court et à la résistance à la compression à 28 jours plus faible.

Le moyen le plus efficace, à première vue, pour limiter la température du béton plastique consisterait à limiter la température des granulats, car ceux-ci constituent près de 70 % du poids du béton. Il est, par contre, assez difficile d'abaisser suffisamment et de façon uniforme la température d'une réserve de plusieurs tonnes de granulats. Pour

cette raison, le moyen le plus utilisé pour limiter la température du béton plastique consiste à employer de l'eau froide et même une certaine proportion de glace lors du gâchage du béton. Le surveillant n'a pas à vérifier ces détails; il n'a qu'à s'assurer que la température du béton plastique est inférieure à la limite maximale permise.

Bien que la température ambiante élevée soit problématique pour la mise en place de n'importe quel béton, l'utilisation d'un béton de type XIII va accentuer ces problèmes. Il faut donc redoubler de prudence avec ce type de béton à cause de son faible rapport eau/liant qui réduit considérablement l'eau à la surface du béton plastique. Cette caractéristique du béton de type XIII le rend plus vulnérable au retrait plastique, dû au séchage rapide de la surface, et au retrait endogène, en raison de l'accélération de la réaction d'hydratation.

Afin de diminuer les risques de fissuration associés à l'emploi du béton de type XIII, la norme 3101 du Ministère fixe la température maximale du béton plastique à 22 °C. Pour les autres types de béton, cette température est déterminée en fonction du type d'élément à bétonner et de l'épaisseur de l'élément (voir à ce sujet le tableau 3101-4 de la norme 3101 du Ministère). Mentionnons que pour les portiques (béquilles et dalle), les glissières, les chasse-roues, les trottoirs, les pistes cyclables et les bandes médianes, la température maximale est aussi de 22 °C entre le 15 mai et le 15 octobre (il est nuisible de fixer cette limite en dehors de cette période afin de ne pas retarder indûment la prise du béton par temps froid). Pour les dalles sur poutres, cette température est fixée à 25 °C. Les taux d'hydratation du liant et d'évaporation à la surface du béton sont fortement influencés par la température du béton plastique.

Le fait de limiter la température de livraison du béton frais lors des bétonnages par temps chaud comporte des avantages pour le comportement du béton frais et pour contrer le retrait plastique, comme il sera vu dans la partie suivante, mais aussi pour limiter la température maximale atteinte par le béton lors de l'hydratation. En effet, il est généralement admis qu'il y a une relation quasi linéaire entre la température maximale atteinte lors de l'hydratation et la température du béton frais à la livraison; autrement dit, un béton livré à une température inférieure de 5 °C verra sa température maximale d'hydratation réduite d'environ 5 °C.

<u>Dalles sur poutres, dalles épaisses, dalles de portiques, tabliers en béton précontraint par post-tension, trottoirs et pistes cyclables</u>

Compte tenu des problèmes associés au retrait plastique du béton lors du bétonnage de ces éléments, une hausse du pourcentage de l'humidité relative, une baisse de la température du béton plastique ou de l'air ainsi qu'une baisse de la vitesse du vent contribuent chacune à leur manière à réduire cette problématique en diminuant le taux d'évaporation à la surface du béton. Les exigences du Ministère sont justement élaborées pour obtenir ces conditions plus favorables de manière à diminuer, lorsque nécessaire, le taux d'évaporation.

En effet, durant la période de l'année où les conditions climatiques sont les plus défavorables quant au bétonnage par temps chaud, il est exigé au CCDG que le bétonnage se fasse en soirée ou de nuit. Cette période de bétonnage de nuit diffère en fonction de la région où se situe le chantier. Dans la zone 1, cette période va du 1er mai au 15 septembre, tandis que dans les zones 2 et 3, cette période va du 15 mai au 1er septembre inclusivement.

Les zones sont définies dans l'arrêté du ministre des Transports concernant les périodes de dégel annuel. Elles ont l'avantage d'être très bien connues au Ministère et s'appliquent sur les chantiers depuis plusieurs années pour le bétonnage par temps froid. La figure 10.3-1 du chapitre 10 « Membrane d'étanchéité et membrane autocollante pour joints » de ce manuel montre la carte apparaissant à cet arrêté et qui divise le territoire québécois selon les trois zones citées précédemment.

Précisons que l'exigence de bétonnage en soirée et de nuit est modulée en fonction de la situation géographique du chantier, mais les exigences de températures maximales de livraison du béton frais, elles, sont invariables; il est donc possible que du 1er au 15 septembre, des dalles soient coulées en utilisant le critère de 25 °C en bétonnant de jour (zones 2 et 3), tandis que du 1er mai au 15 mai, il sera possible de livrer le béton à 30 °C en bétonnant de nuit (zone 1).

Le bétonnage en soirée et de nuit permet d'obtenir un taux d'évaporation plus bas, puisque les quatre facteurs énumérés précédemment y sont favorables. En soirée ou de nuit, le pourcentage d'humidité relative est généralement plus élevé et, la température du béton plastique et de l'air ainsi que la vitesse du vent sont moins élevées. Il ne faut pas se surprendre de ne pas retrouver la notion de bétonnage de soirée ou de nuit dans les projets de construction de routes en béton, car la fissuration du béton y est plus tolérée.

Outre les problèmes liés au retrait plastique du béton frais, le bétonnage par temps chaud rend plus difficile la finition du béton. En effet, le taux d'évaporation élevé nuit considérablement aux travaux de finition, puisque la surface devient rapidement trop sèche pour permettre une finition adéquate. Bien que le bétonnage en soirée ou de nuit soit une mesure d'atténuation très importante, elle est à elle seule insuffisante. Comme il est interdit au CCDG d'ajouter de l'eau pour faciliter la finition du béton, les exigences du CCDG relatives au bétonnage des dalles limitent à 3 m la distance maximale de béton plastique devant l'équipement de finition, alors que celles relatives à la cure des éléments en béton coulés en place limitent à 6 m la distance maximale entre l'arrière de l'équipement de finition et tout béton non humidifié. Ces exigences devraient être resserrées si des difficultés survenaient tout de même par temps chaud lors de la finition du béton.

De plus, le bétonnage doit s'achever avant la fin de la nuit pour que les opérations de finition de béton soient terminées et que celles concernant la cure du béton soient en place avant le réchauffement des températures.

Dans le cas du bétonnage d'un tablier en béton précontraint par post-tension où il est impossible de mettre en place tout le béton du tablier durant la période autorisée de soirée ou de nuit, le bétonnage des poutres peut débuter plus tôt en fin de journée afin qu'il puisse se terminer au plus tard une heure avant le lever du soleil, comme cela est exigé au CCDG. Cette pratique est acceptable étant donné que les surfaces exposées de béton plastique sont petites et à l'abri du vent. Il faut par contre s'assurer que le béton des poutres ne s'assèche pas avant la pose du béton de la dalle; pour ce faire, il est recommandé de procéder de la manière indiquée pour l'humidification préalable à la cure du béton d'une dalle.

Finalement, pour certains de ces éléments plus sensibles, soit les dalles sur poutres, les dalles épaisses en béton armé et les dalles de portique, le CCDG ou les plans exigent l'emploi d'un béton fabriqué avec un ciment de type ternaire. Ces ciments contiennent des ajouts cimentaires et sont ainsi composés de ciment portland, de fumée de silice et de cendres volantes ou de laitiers de haut-fourneaux. Sans trop entrer dans les détails, ces ajouts font que les mélanges de béton dont ils font partie sont d'aspect plus « crémeux », ce qui facilite la finition. Les mélanges de béton à base de ciments ternaires dégagent également moins de chaleur au cours des premiers jours d'hydratation, moment où les températures maximales dans le béton durci sont généralement atteintes. Les exigences d'obligation du ciment ternaire du CCDG tiennent donc compte de ces deux avantages qui sont particulièrement utiles par temps chaud. Précisons que la vérification de l'emploi du ciment ternaire dans le mélange de béton s'effectue au moment de la réception des formules de mélange.

Autres éléments de pont en béton

Le bétonnage par temps chaud des autres éléments de pont est moins critique que celui des dalles, des trottoirs ou des pistes cyclables.

Le retrait plastique est un problème moins important parce que la surface exposée à l'air est généralement très faible et à l'abri à l'intérieur des coffrages. Il faut, par contre, être plus prudent à la fin du bétonnage, surtout si les coffrages n'excèdent pas beaucoup le niveau final du béton; il faut alors se dépêcher de réaliser la finition du béton immédiatement après sa mise en place.

Le taux accéléré d'hydratation du liant par temps chaud peut cependant causer des problèmes en ce qui a trait au retrait endogène et à la température interne du béton.

Rappelons que l'intensité du retrait endogène, qui favorise la formation de fissures très fines, augmente avec la diminution de la teneur en eau du béton; cette amplitude est encore plus marquée avec un béton de type XIII étant donné son faible contenu en eau.

De plus, par temps chaud, compte tenu du taux élevé d'évaporation à la surface du béton, le retrait endogène est amplifié à cause du déficit additionnel d'eau dans le béton.

4.3.8 Bétonnage par temps froid

Le bétonnage par temps froid, qui exige toute une série de précautions, est un sujet d'une très grande importance considérant notre climat et la période de l'année à laquelle se terminent bien des contrats de construction ou de réparation de ponts.

La principale conséquence que peut entraîner le temps froid sur le béton est le gel. Celui-ci peut se produire une fois que le béton a fait sa prise, mais aussi avant, lorsqu'il est encore à l'état plastique. Les conséquences découlant du gel sont différentes selon qu'il se produit avant ou après la prise du béton.

Les types de protection par temps froid cités plus loin sont décrits à l'article 15.4.3.8.2 « Types de protection » du CCDG.

Exigences pour éviter le gel du béton plastique

Lorsque le béton à l'état plastique gèle, l'action du gel y est similaire à ce que l'on peut trouver dans un sol saturé. L'eau disponible dans le béton se transforme en glace, ce qui résulte en un gonflement volumétrique de ce dernier. Une partie de l'eau n'est alors plus disponible pour alimenter la réaction d'hydratation, même si celle-ci est déjà fortement réduite à cause de la température très basse. La réaction d'hydratation peut reprendre lors du dégel mais, à cause du gonflement volumétrique du béton lors du gel, qui a détruit la microstructure du béton, le béton résultant une fois l'hydratation terminée sera très poreux et peu homogène; le béton sera alors peu résistant et peu durable.

Il existe un certain nombre d'exigences prévues dans le CCDG pour éviter le gel du béton plastique; celles-ci sont les températures minimales pour l'air extérieur et les surfaces de contact lors du bétonnage. À ces dernières, il faut ajouter les exigences du tableau 3101-4 de la norme 3101 du Ministère concernant la température minimale du béton plastique, laquelle est fixée en fonction de l'épaisseur de l'élément. Le moyen le plus facile pour augmenter la température du béton plastique est d'utiliser de l'eau chaude; les granulats doivent tout de même être chauffés afin d'éliminer toute motte gelée, la neige et la glace.

Une autre mesure importante qui peut être prise pour s'assurer que le béton frais maintienne sa température consiste à isoler la ligne de pompage lorsque le béton doit être mis en place au moyen d'une pompe et que la ligne de pompage est relativement longue. Même si l'isolation de la ligne de pompage ne fait pas partie des exigences du CCDG, la plupart des opérateurs de pompe sont familiers avec cette façon de faire, et cette mesure peut donc être suggérée à l'entrepreneur si elle n'est pas prévue.

La température de l'air extérieur lors d'un bétonnage à l'air libre (sans utilisation d'abri) doit être égale ou supérieure à 0 °C (section 15.4.3.8.3 du CCDG). Dans le cas d'une dalle ou d'un tablier pour laquelle une protection de type 3 ou 4 est prévue, la température de l'air doit être supérieure à - 10 °C lors du bétonnage et pendant les 48 heures suivant la mise en place du béton (sections 15.4.3.8.4 et 15.4.3.8.5). Cette exigence particulière pour les dalles est due au fait que l'abri sous les coffrages est chauffé, permettant ainsi le bétonnage à une température extérieure plus basse.

Il est par contre interdit de bétonner une dalle lorsque la température extérieure est inférieure à - 10 °C parce qu'il n'est généralement pas possible, entre autres, d'obtenir la température minimale requise des surfaces de contact. Puisque l'abri ne protège pas le béton dans une enceinte, il est également possible qu'à des températures plus basses, le béton gèle avant qu'on ait pu y installer les couvertures isolantes (lors de la mise en place du béton, il faut prévoir les délais pour la finition et la mise en œuvre de la cure).

La température des surfaces avec lesquelles le béton plastique vient en contact doit être égale ou supérieure à 5 °C afin d'éviter que le béton ne soit refroidi par les surfaces de contact ce qui pourrait entraîner le gel du béton près de ces surfaces. Cette température minimale vise aussi entre autres à éviter la présence de glace sur les armatures afin de ne pas nuire à l'adhérence entre les barres et le béton et augmenter le rapport eau/liant autour de celles-ci lorsque la glace fond au contact du béton. Dans le cas d'un bétonnage effectué avec une protection de type 2, 3 ou 4, les surfaces de contact doivent être préalablement chauffées et maintenues à une température comprise entre 5 °C et 20 °C pendant au moins 24 heures avant le bétonnage. Cette exigence permet de s'assurer que l'entrepreneur contrôle efficacement la température à l'intérieur de l'abri, ce qui permet de croire qu'il en sera de même durant toute la période de protection.

Mentionnons que le surveillant devrait se munir d'un thermomètre infrarouge pour les diverses vérifications de température du béton plastique ou des surfaces de contact.

Exigence pour éviter le gel du béton ayant fait sa prise

Lorsque le béton gèle après la prise, l'action du gel est fort différente du cas précédent, puisque le béton ne peut pas prendre d'expansion. Si le béton n'a pas eu le temps de développer suffisamment de résistance, il ne peut pas résister à la pression de la glace à l'intérieur de ses pores. Il en résulte un béton présentant une fissuration généralisée, peu résistant au gel et dégel, et à l'écaillage. Cette fissuration n'est pas nécessairement visible à l'œil nu, puisqu'elle se produit au niveau des pores du béton qui ont des diamètres inférieurs à quelques dixièmes de millimètre.

La seule exigence du CCDG pour éviter le gel du béton durci concerne la température du béton, qui doit être maintenue au-dessus de 10 °C pendant une période minimale équivalente à la durée de la cure, qui est de sept jours consécutifs suivant le bétonnage pour la plupart des bétons. Par contre, ces périodes doivent être prolongées tant que le béton n'a pas atteint 70 % de la résistance exigée à 28 jours. Cette dernière exigence est importante, d'une part, pour avoir un béton suffisamment fort pour résister sans dommage au gel et d'autre part, avoir une résistance structurale suffisante pour

poursuivre les travaux étant donné que l'atteinte de la résistance à 28 jours ne se fera qu'au dégel le printemps suivant. Dans le cas du béton précontraint par post-tension, la période de protection doit se poursuivre jusqu'à dix jours après l'injection du coulis dans les gaines de post-tension afin de laisser le temps au coulis d'acquérir lui aussi la résistance nécessaire avant d'être soumis au gel. Dans le cas du béton latex 15 % (béton de type XVI-15), la période de protection doit être de 7 jours même si la cure ne dure que 24 heures.

Pour respecter cette exigence concernant la température minimale du béton durci, il peut être requis de mettre en place un moyen de protection du béton lorsque la température de l'air ou la période de l'année l'exige. En effet, afin de maintenir la température au-dessus de 10 °C, des balises sont fixées au CCDG pour éviter des situations tragiques qui pourraient survenir en raison d'un manque de protection. Par exemple, la protection du béton au moyen de couvertures isolantes doit se faire après le bétonnage réalisé à l'air libre si la température de l'air extérieur est susceptible de descendre au-dessous de 5 °C pendant les 48 heures suivant la mise en place du béton. Le type de protection du béton à effectuer, qui varie selon la période de l'année et le type d'élément de pont à bétonner, est expliqué plus loin en détail.

Le CCDG fixe à 40 °C la température maximale à l'intérieur des abris de protection de type 2, 3 ou 4. Cette exigence vise à éviter un chauffage trop intense de la part de l'entrepreneur, ce qui peut résulter en un dépassement de la température maximale permise à l'intérieur du béton qui est de 70 °C (fixée au devis spécial) lorsque l'on considère la chaleur dégagée durant l'hydratation. La température maximale doit être respectée en tout point dans l'abri; il est toutefois probable que cette température maximale soit enregistrée à proximité des appareils de chauffage ou des entrées de chaleur dans l'abri.

La température maximale à l'intérieur des abris est aussi contrôlée indirectement par les exigences de température des surfaces des coffrages, à l'intérieur de la protection, qui doit se situer entre 10 et 20 °C. Ces exigences constituent des mesures indirectes permettant d'assurer une température minimale du béton tout en lui évitant un apport trop important de chaleur qui lui serait dommageable. Le surveillant doit, par conséquent, se munir de deux thermomètres lors des bétonnages sous abri; un premier thermomètre classique servira à mesurer la température de l'air à l'intérieur de l'abri et un second thermomètre infrarouge servira à faire la vérification des surfaces de béton durci et des coffrages.

Le devis spécial mentionne une température maximale de 70 °C pour le béton durant la cure; cette dernière température est cependant très élevée et constitue la limite extrême. Dans le cadre de la protection par temps froid, il est de bonne pratique de veiller à diminuer la température à l'intérieur de l'abri ou à diminuer le nombre de couches du matériau isolant lorsque la température du béton excède 20 °C à 30 °C environ. Cette précaution est importante pour réduire le plus possible les problèmes de fissuration dus à la chaleur trop intense du béton. Le surveillant doit donc demeurer vigilant tout au long de la période de cure et vérifier souvent la température du béton, surtout lors d'un réchauffement brusque des températures.

Mesure des températures du béton durci

Pendant toute la durée de la période de protection, l'entrepreneur doit vérifier la température du béton et, dans le cas d'une protection de type 2, 3 ou 4, celle des coffrages. Il doit immédiatement prendre les mesures nécessaires s'il constate une non-conformité. Ce suivi de la température est particulièrement utile pour ajuster le niveau du chauffage ou le niveau d'isolation tout au long de la période de protection.

Le surveillant doit aussi faire le suivi de la température de surface (coffrages ou béton) au moyen d'un thermomètre infrarouge.

Pour le suivi de la température du béton à partir du début de la coulée jusqu'à la fin de la période de protection, l'outil le plus approprié est le thermocouple. Un thermocouple est un assemblage de deux fils constitués de deux métaux différents qui, une fois noyés dans le béton, permet de lire la température avec une relative précision (en général 1 °C) en lisant la différence de potentiel entre les deux fils au moyen d'un appareil.

Pour tous les éléments coulés par temps froid, le surveillant devrait demander au laboratoire mandaté par le Ministère de fournir et d'installer des thermocouples puisque cette installation exige une certaine expérience en ce domaine. Ce suivi de température est essentiel dans le cas des dalles sur poutres, des dalles épaisses, des portiques et des tabliers en béton précontraint en place, considérant leur grande surface exposée. Le suivi de la température durant la période de cure est normalement effectué par le surveillant au moyen de l'appareil fourni par le laboratoire.

Les thermocouples sont installés au niveau de la nappe supérieure d'armature, aux endroits indiqués par le surveillant à raison d'un thermocouple par 75 m^3 de béton. L'emplacement des thermocouples est déterminé par la géométrie des éléments à bétonner et par le niveau d'uniformité du chauffage mis en place. Les endroits à privilégier sont habituellement les coins ou les zones où le chauffage risque d'être insuffisant. Le surveillant ne doit pas hésiter à augmenter le nombre de thermocouples à installer s'il juge que la situation l'exige.

Précisons que les thermocouples donnent la température du béton à l'intérieur de l'ouvrage, à l'endroit où est disposée l'extrémité du fil. Il faut éviter d'utiliser les thermocouples pour mesurer les températures minimales de surface du béton ou des coffrages durant la durée de la protection, et ce, même si les thermocouples sont installés près de la surface, vis-à-vis du rang d'armature. La température mesurée au niveau des armatures peut, par exemple, être mesurée à 10 °C, ce qui correspondrait au minimum exigé, mais la température de surface peut, de son côté, être bien inférieure au minimum, si on considère que le béton de recouvrement vient isoler le thermocouple.

Choc thermique

Lorsque la température d'un élément de béton est graduellement abaissée, la chaleur de toute la masse se dissipe lentement par sa surface sans causer de problèmes. Si, par contre, le refroidissement se fait brusquement, seule la chaleur de la surface du béton se dissipe, celle du cœur de l'élément n'ayant pas le temps de migrer vers la surface pour se dissiper à cause du faible gradient de conduction thermique du béton. Il en résulte que la baisse de température du béton ne s'effectue qu'en surface alors que celle de l'intérieur de l'élément demeure pratiquement stable. Le béton à la surface se contracte tandis que celui de l'intérieur de l'élément demeure volumétriquement stable, d'où des contraintes à la surface du béton. Ces contraintes, si elles deviennent trop importantes, favorisent l'apparition de fissures à la surface du béton.

Pour éviter ces problèmes, les exigences du CCDG relatives au refroidissement du béton doivent être respectées à la fin de la période de protection. Dans le cas d'un bétonnage réalisé avec une protection de type 2, 3 ou 4, une bonne pratique consiste à couper le chauffage sans toutefois enlever la protection. Cette façon de faire permet au béton de refroidir graduellement.

Exigences générales

Les exigences relatives à la cure du béton s'appliquent quel que soit le type de protection mis en place. Pour une dalle, un trottoir ou une piste cyclable, l'entrepreneur peut trouver tentant de remplacer la cure au moyen de toiles absorbantes imbibées d'eau par un matériau de cure formant membrane beaucoup plus facile d'application. Le surveillant doit insister pour que l'entrepreneur prenne les mesures nécessaires afin de respecter les exigences contractuelles et surtout les besoins du béton en apport d'eau. Il faut se référer à la section 4.3.5.9 « Cure des éléments en béton coulés en place » de ce chapitre pour plus de détails. Il est toutefois possible, dans certaines conditions exceptionnelles, d'avoir recours à une cure chimique pour les dalles, tel qu'expliqué dans la section 4.3.8.4 « Dalle sur poutres ». Cette substitution est toutefois effectuée à la demande du surveillant.

Tout béton qui a gelé durant la période de cure doit être démoli et remplacé. Cette exigence du CCDG s'impose compte tenu du peu de résistance et de durabilité d'un béton qui a gelé en bas âge. Le surveillant doit être vigilant (en augmentant la fréquence de lecture des thermocouples s'il a le moindre doute) dans le suivi des températures du béton, car il est facile de réchauffer un béton qui a gelé sans que cela paraisse vraiment. Le surveillant se doit de consulter le concepteur pour s'assurer des mesures à prendre en présence de tout béton qui a gelé.

4.3.8.1 Béton existant, armatures et coffrages

L'emploi de sels de déglaçage pour faire fondre la glace ou la neige dans les coffrages est interdit, car cette pratique réduit la durabilité du béton. Même si les coffrages sont nettoyés par la suite, le sel demeure imbibé dans les coffrages et il contamine le béton de surface mis en place contre le coffrage.

Il faut se référer à la section 4.3.8 « Bétonnage par temps froid » de ce chapitre pour les informations concernant la température minimale et le préchauffage des surfaces de contact.

Dans le cas d'un bétonnage effectué avec une protection de type 2, 3 ou 4, les coffrages doivent demeurer en place pour toute la durée de la protection. Cette exigence du CCDG s'impose afin de diminuer l'écart de température entre la surface et le cœur de l'élément de béton; elle permet aussi de maintenir la température de l'élément dans l'éventualité d'une chute imprévue de la température de l'abri causée, par exemple, par la déchirure des toiles ou une panne de chauffage.

Il est bien important lors d'un bétonnage sous abri d'assurer une bonne répartition de la chaleur à l'intérieur de celui-ci. Il faut éviter que la température des coffrages de certaines parties de l'ouvrage soit trop élevée ou trop basse.

Dans le cas de l'utilisation d'une protection de type 2, où l'emploi de chaufferettes de chantier portatives au propane ou à essence, couramment appelées « cochons », est permise à l'intérieur de l'abri, il est particulièrement important de vérifier la répartition de la chaleur. Puisque ce genre de chaufferettes est très peu efficace pour répartir adéquatement la chaleur, le surveillant doit être vigilant afin de s'assurer que les températures minimale et maximale des coffrages et la température maximale à l'intérieur de l'abri sont respectées en tout point avant d'autoriser la mise en place du béton.

4.3.8.2 Types de protection

Dans plusieurs cas, la chaleur libérée lors de la réaction d'hydratation du liant suffit à maintenir le béton dans des conditions qui respectent les exigences relatives aux températures minimales demandées précédemment. Il faut, par contre, conserver cette chaleur en isolant le béton.

Dans d'autres cas, par ailleurs, la température extérieure est trop basse pour que la masse de béton suffise à se chauffer elle-même, et ce, en dépit de l'isolation. Un ajout de chaleur doit alors être envisagé.

Ce sont ces principes qui guident l'utilisation des protections du béton par temps froid. Avant de déterminer les conditions d'utilisation des divers types de protection, une courte description de chacune d'elles est présentée.

a) Protection de type 1

La protection de type 1 consiste à recouvrir toutes les surfaces de béton d'un matériau isolant. Chaque couche de matériau isolant doit avoir une résistance thermique RSI d'au moins 0,40; l'isolant peut être posé en une ou deux couches. La valeur thermique RSI est un système de mesures qualifiant la capacité d'un matériau à résister au transfert de chaleur. Plus cette valeur est élevée, plus le matériau est isolant.

Un matériau isolant ayant une valeur RSI de 0,40 correspond généralement à un matelas de mousse d'une épaisseur de 16 mm. En cas de doute, le surveillant doit demander à l'entrepreneur les fiches techniques de l'isolant afin de vérifier que cette exigence est respectée. Cette vérification doit être faite de préférence avant que l'entrepreneur achemine les matelas isolants sur le chantier afin de lui laisser le temps nécessaire pour trouver un autre matériau acceptable dans l'éventualité d'un refus.

Les matelas de grosses bulles, qui ont été couramment employés par le passé pour protéger le béton, sont interdits au CCDG, car ils sont facilement abîmés par la circulation des ouvriers. Ils doivent, par conséquent, être refusés, d'autant plus qu'ils ne respectent pas la valeur RSI minimale exigée.

Les matelas isolants devraient être déposés sur la surface du béton immédiatement après la finition de manière à ce que la protection soit efficace. Même si le béton est encore frais, il est possible de déposer délicatement les matelas de manière à ne pas créer de dépressions ou de défauts à la surface du béton. Si des défauts localisés de faible profondeur sont créés, ils seront de toute façon facilement enlevés lors de l'étape de la correction des surfaces et du nettoyage au jet de billes.

Il est essentiel de bien chevaucher les joints entre les matelas; une distance minimale de chevauchement de 75 mm doit être respectée. Il ne faut pas oublier qu'un chevauchement insuffisant peut entraîner le gel du béton immédiatement sous le chevauchement.

Il faut également prendre des mesures pour que les matelas ne soient pas soulevés par le vent, ce qui rendrait leur efficacité nulle. De plus, tout matelas déchiré ou présentant des trous doit être immédiatement remplacé.

Selon l'évolution de la température du béton durant la période de protection, le surveillant doit exiger de réduire ou d'augmenter le nombre de couches d'isolant afin que la température du béton se maintienne entre 10 °C et 30 °C. Bien que cette dernière limite ne soit pas contractuelle, celle-ci constitue une règle de bonne pratique.

b) Protection de type 2

La protection de type 2 consiste à construire un abri charpenté enveloppant la totalité de l'élément à bétonner. L'abri doit avoir des dimensions suffisantes pour permettre de faire, à l'intérieur, tous les travaux de bétonnage, de finition et de cure du béton. L'intérieur de l'abri est chauffé au moyen d'équipements de chauffage appropriés.

Si les équipements de chauffage sont localisés à l'intérieur de l'abri, un courant d'air doit être provoqué afin que la répartition de la chaleur soit suffisante pour respecter les températures minimale et maximale des coffrages indiquées précédemment. Il faut toutefois prendre garde de ne pas diriger une circulation d'air trop intense sur la surface du béton frais, car ces conditions pourraient mener à de la fissuration de retrait plastique (voir la section « Cure des éléments en béton coulés en place »).

Certains équipements de chauffage nécessitent la présence d'un système de ventilation efficace pour évacuer à l'extérieur les gaz de combustion. Cette précaution est nécessaire pour préserver la santé des ouvriers travaillant à l'intérieur de l'abri et pour éviter que le gaz carbonique des gaz de combustion réagisse avec la chaux à la surface du béton plastique. Des précautions additionnelles doivent aussi être prises pour prévenir un incendie à l'intérieur de l'abri; pour ce faire, il faut s'assurer d'une distance suffisante entre les toiles de l'abri et les équipements de chauffage.

Dans le cas d'un ouvrage supporté par des étaiements appuyés sur le sol, comme un chevêtre en porte-à-faux d'une pile ou un mur en retour d'une culée, l'abri et la méthode de chauffage doivent être conçus de façon à éviter le dégel du sol. Cette exigence du CCDG s'impose afin d'empêcher le mouvement des étaiements.

c) Protection de type 3

La protection de type 3 est utilisée exclusivement pour le bétonnage des dalles sur poutres.

La protection de type 3 consiste à construire un abri enveloppant le dessous et les côtés du tablier, y compris les poutres. Cette dernière exigence est importante à cause de la variation volumétrique des matériaux causée par un changement de la température. En effet, si les poutres ne sont pas à l'intérieur de l'abri, des contraintes importantes vont apparaître dans la dalle lors de l'enlèvement de la protection de type 3. Ces contraintes, qui conduisent inévitablement à l'apparition de fissures transversales dans la dalle, sont dues au fait que la dalle en se refroidissant a tendance à se contracter alors que les poutres déjà froides demeurent volumétriquement stables.

Il faut également que les poutres soient entièrement chauffées par l'abri. Pour des raisons de facilité de réalisation, certains entrepreneurs ont tendance à ne pas inclure la semelle inférieure des poutres dans l'abri. Cette situation est à éviter, car le différentiel de température entre les deux semelles des poutres tend dans ces cas à modifier la cambrure, ce qui peut mener à un mauvais profil sur la dalle.

La protection de type 3 doit être prolongée verticalement sur les côtés extérieurs du tablier par une palissade d'une hauteur minimale de 1,2 m au-dessus de la dalle, soit généralement la hauteur des garde-corps en bois utilisés pour la protection des ouvriers.

Il faut par contre faire attention lorsqu'une passerelle d'accès pour les ouvriers est aménagée au-dessus des porte-à-faux. Dans ces cas, la palissade de protection peut être aménagée à l'extérieur de cette passerelle mais la hauteur minimale exigée est toujours mesurée par rapport à la surface du dessus de la dalle. Si les travaux sont réalisés en plus d'une phase, cette prolongation doit être située entre la phase des travaux en cours et les autres phases.

La protection verticale vise à réduire l'effet du vent sur la surface du béton. La palissade fait partie intégrante de la protection et doit être en place aussi bien pour le bétonnage et la finition que pour la durée de la cure.

Le béton du dessus du tablier est protégé, quant à lui, au moyen d'un isolant, en une ou deux couches selon les besoins. Cet isolant doit être en place pour la période de chauffage de 24 heures précédant le bétonnage; elle doit être remise en place après le bétonnage. Pour plus de détails concernant l'utilisation d'un isolant, le surveillant est invité à consulter le texte se rapportant à la protection de type 1.

L'intérieur de l'abri est chauffé au moyen d'équipements de chauffage appropriés. Contrairement à la protection de type 2, les équipements de chauffage doivent être situés à l'extérieur de l'abri (assez loin des échafaudages pour éviter toute surchauffe localisée des coffrages), car il est à peu près impossible, pour ce genre d'ouvrage, d'obtenir une bonne répartition de chaleur avec des équipements situés à l'intérieur de l'abri. Le système de distribution de la chaleur prévu à l'intérieur de l'abri prend généralement la forme d'un tuyau en plastique perforé de place en place; la conception de ce système est généralement faite par un spécialiste en chauffage. Dans le cas d'une dalle sur poutres, ce tuyau devrait être prévu sous les coffrages en porte-à-faux et entre toutes les poutres.

L'entrepreneur doit fournir au surveillant, au moins deux semaines avant le bétonnage, le plan du dispositif de chauffage qu'il a l'intention d'utiliser. Cette précaution est nécessaire pour permettre au surveillant de mieux juger à l'avance de l'efficacité du système proposé évitant ainsi tout délai de bétonnage (en une période de l'année où chaque jour compte) en cas de non-conformité.

En terminant, précisons que, lorsqu'une dalle est bétonnée au moyen d'une protection de type 3 ou 4 et que l'entrepreneur désire couler, dans les jours suivants, une glissière, un chasse-roue ou un trottoir sur cette dalle, il doit protéger ces éléments au moyen d'un abri fermé de type 2. Les abris de types 3 et 4 peuvent être utilisés pour les dalles car le chauffage est appliqué à la partie inférieure des coffrages. Un abri de type 3 ou 4 est toutefois inefficace pour les éléments coulés au-dessus de la dalle car la chaleur de l'abri sous-jacent ne peut pas être transmise aux éléments alors coulés (la dalle empêche à ce moment la transmission de chaleur).

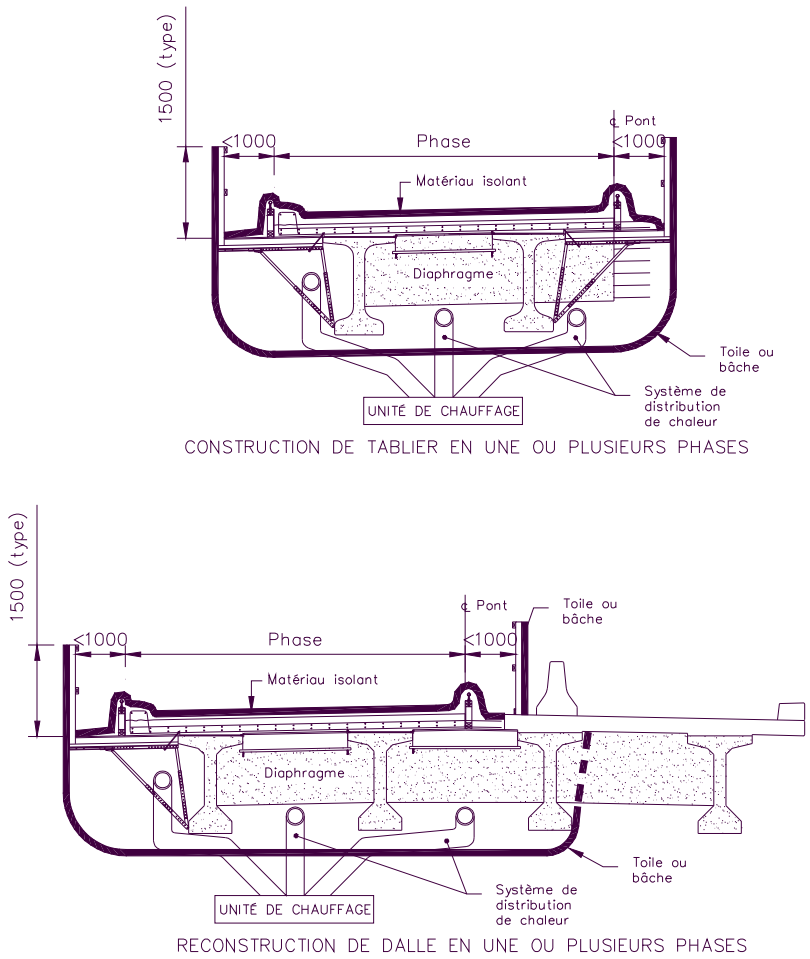


Figure 4.3-18 Bétonnage par temps froid – protection de type 3

d) Protection de type 4

La protection de type 4 est utilisée exclusivement pour le bétonnage des tabliers construits sur étaiement et consiste à construire un abri sommaire enveloppant l'étaiement du tablier.

La protection de type 4 doit être prolongée verticalement sur les côtés extérieurs du tablier jusqu'à une hauteur minimale de 1,2 m au-dessus de la dalle, soit généralement la hauteur des garde-corps en bois utilisés pour la protection des ouvriers. Si les travaux sont réalisés en plus d'une phase, cette prolongation doit être située entre la phase des travaux en cours et les autres phases. Cette exigence du CCDG s'impose afin de réduire l'effet du vent sur la surface de béton.

Le béton du dessus du tablier est protégé, quant à lui, au moyen d'un isolant, en une ou deux couches selon les besoins. Cet isolant doit être en place pour la période de

chauffage de 24 heures précédant le bétonnage; elle doit être remise en place après le bétonnage. Pour plus de détails concernant l'utilisation d'un isolant, le surveillant est invité à consulter le texte se rapportant à la protection de type 1.

L'intérieur de l'abri est chauffé au moyen d'équipements de chauffage appropriés. Contrairement à la protection de type 2, les équipements de chauffage doivent être situés à l'extérieur de l'abri (assez loin des échafaudages pour éviter toute surchauffe localisée des coffrages), car il est à peu près impossible, pour ce genre d'ouvrage, d'obtenir une bonne répartition de chaleur avec des équipements situés à l'intérieur de l'abri. Il faut aussi s'assurer que le système de chauffage prévu n'entraînera pas le dégel du sol, ce qui modifierait le profil des coffrages du tablier.

L'entrepreneur doit fournir au surveillant, au moins deux semaines avant le bétonnage, le plan du dispositif de chauffage qu'il a l'intention d'utiliser (notamment les mesures visant à éviter le dégel du sol). Cette précaution est nécessaire pour permettre au surveillant de mieux juger à l'avance de l'efficacité du système proposé évitant ainsi tout délai de bétonnage (en une période de l'année où chaque jour compte) en cas de non-conformité.

4.3.8.3 Pieux caissons et pieux tubulaires, semelle, culée, pile, béquille de portique, dalle de transition, mur de soutènement, ponceau, joint de tablier, chasse-roue, trottoir, piste cyclable, glissière et travaux de réparation

Le tableau 4.3-7, présenté ci-après, résume le type de protection à utiliser pour le bétonnage de tous ces éléments. Il est également à noter que des arbres décisionnels concernant les protections par temps froid sont présentés en fin de chapitre.

Précisons qu'en ce qui a trait aux portiques, ces exigences ne s'appliquent qu'aux béquilles (parties verticales comprises entre les semelles et la dalle). Pour ce qui est de la dalle, les exigences de la section 15.4.3.8.5 « Tablier construit sur étaiement » doivent s'appliquer, et ce, peu importe que le portique soit coulé avec ou sans joints de coulée.

Tableau 4.3-7 Type de protection à utiliser pour tous les éléments de pont, sauf les dalles sur poutres et les tabliers construits sur étaiements (dalles épaisses, tabliers en béton précontraint par post-tension et portiques)

1er avril au 31 octobre			**1er novembre au 31 mars**
T° < 0 °C	**T° < 5 °C**	**T° > 5 °C**	**Toutes T°**
Bétonnage à l'air libre interdit	Type 1 (1 ou 2 couches)	Aucune protection	Type 2

Note : Les travaux de réparation avec coffrages sans surépaisseur sont interdits entre le 1er novembre et le 31 mars.

L'interdiction de procéder à des travaux de réparation avec coffrages sans surépaisseur entre le 1er novembre et le 31 mars est nécessaire compte tenu de l'impossibilité de modifier la température du béton à conserver. En effet, il est impensable de construire une protection de type 2 autour de l'ensemble d'un élément existant. En construisant un abri localement dans la zone de la réparation, il serait possible de maintenir la surface de contact à une température adéquate avant la coulée de la réparation, mais une fois le béton de réparation coulé, il y a des risques importants de voir la masse du béton existant de l'élément, qui demeure non chauffé, de venir refroidir le béton frais à l'interface jusqu'à ce qu'il gèle.

Il est important de mentionner la façon de fonctionner indiquée au CCDG. En effet, l'entrepreneur est tenu de respecter à la fois des dates et des températures (air extérieur et surfaces de contact). Compte tenu du délai important associé à la conception et à la mise en place d'un abri de type 2, le fait d'avoir une date à respecter simplifie énormément les choses; le surveillant n'a pas, passé le 1er novembre, à essayer d'interpréter les prévisions météorologiques souvent capricieuses de cette période de l'année et, surtout, il n'a pas à argumenter avec l'entrepreneur. Ce dernier est donc au courant, dès l'obtention de son contrat, qu'il a une protection de type 2 à mettre en place pour un bétonnage à faire à partir du 1er novembre.

Certains surveillants pourraient être tentés de se laisser convaincre par l'entrepreneur d'omettre la protection de type 2 même si la date butoir du 1er novembre est dépassée étant donné qu'il fait exceptionnellement chaud. Il faut comprendre que les températures sont très imprévisibles à court terme et encore plus sur toute la période de cure où il faut maintenir le béton au-dessus de 10 °C. Le surveillant se doit d'être très ferme sur ce point afin d'éviter d'avoir à refuser, avec toutes les discussions et maux de tête que cela implique, un béton ayant souffert du froid. Il peut évidemment arriver que la période de chaleur se poursuive sur toute la période de cure, surtout dans le sud du Québec; rappelons qu'il est préférable de payer de temps à autre pour une protection de type 2 qui peut s'avérer inutile que de se retrouver à l'occasion avec un béton peu durable puisqu'exposé au froid.

Finalement, le surveillant se doit d'être très vigilant à l'approche de la date butoir du 1er novembre, car il se peut qu'il fasse plus froid qu'à l'habitude au mois d'octobre. Si le cas se présentait, le surveillant doit interdire le bétonnage même si en théorie l'entrepreneur aurait le droit de bétonner sans la protection de type 2. Ces situations exceptionnelles sont traitées au « cas par cas » tout en se rappelant que seules les conditions dans lesquelles est mis en place le béton comptent; autrement dit, ces conditions priment sur toutes autres de nature monétaire.

4.3.8.4 Dalle sur poutres

Le tableau 4.3-8, présenté ci-après, résume le type de protection à utiliser en fonction de la période de l'année pour le bétonnage d'une dalle sur poutres. Il est également à noter que des arbres décisionnels concernant les protections par temps froid sont présentés en fin de chapitre.

Tableau 4.3-8 Type de protection à utiliser pour une dalle sur poutres

Zone 1	**1er avril au 31 octobre**			**1er novembre au 20 décembre**		**21 décembre au 31 mars**
	T° < 0 °C	**T° < 5 °C**	**T° > 5 °C**	**T° < - 10 °C**	**T° > - 10 °C**	**Toutes T°**
	Bétonnage à l'air libre interdit	Type 1 (1 ou 2 couches)	Aucune protection	Interdit	Type 3	Interdit
	1er avril au 31 octobre			**1er au 30 novembre**		**1er décembre au 31 mars**
Zones 2 et 3	**T° < 0 °C**	**T° < 5 °C**	**T° > 5 °C**	**T° < - 10°C**	**T° > - 10 °C**	**Toutes T°**
	Bétonnage à l'air libre interdit	Type 1 (1 ou 2 couches)	Aucune protection	Interdit	Type 3	Interdit

Les zones sont définies dans l'arrêté du ministre des Transports concernant les périodes de dégel annuel. Elles ont l'avantage d'être très bien connues au Ministère. De plus, les notions de dégel conviennent parfaitement pour gérer des travaux réalisés l'automne. En effet, un dégel hâtif, comme c'est le cas de la zone 1, correspond à un gel tardif; alors qu'un dégel tardif, comme c'est le cas des zones 2 et 3, correspond à un gel hâtif. La figure 10.3-1 du chapitre 10 « Membrane d'étanchéité et membrane autocollante pour joints » de ce manuel montre la carte apparaissant à cet arrêté et qui départage le territoire québécois selon les trois zones citées précédemment.

Le bétonnage d'une dalle sur poutres est interdit durant la période hivernale, car la température au cours de cette période, particulièrement la nuit, est souvent inférieure à - 10 °C. Même s'il peut arriver pendant cette période de l'année que la température monte au-dessus de cette valeur pour quelques jours consécutifs, il n'est pas possible de prévoir longtemps à l'avance quand cela se produira. De toute façon, même avant cette interdiction, très peu de dalles étaient bétonnées l'hiver.

Compte tenu des problèmes d'écaillage du béton des surfaces horizontales constatés sur plusieurs chantiers par le passé, le surveillant doit se référer à *l'Info-structures* n° T2012-22 où il est recommandé diverses stratégies pour contrer ces problèmes, et ce, pour les bétonnages réalisés après le 15 octobre.

Brièvement, ces stratégies se résument au report des travaux au printemps suivant lorsque cela est possible. Lorsque cette option est impossible, dans certains cas, la cure à l'eau devra être remplacée par une cure au moyen d'un matériau de cure formant membrane et un béton de type V-S avec liant binaire devra être employé (lorsque cela est possible, consulter le concepteur). Précisons par contre que pour la plupart des bétonnages de dalle réalisés après le 15 octobre, l'exigence de la cure à l'eau sera maintenue. La substitution vers la cure chimique devrait être exigée par le surveillant uniquement dans les cas de bétonnage très tardifs (moins d'un mois avant les dates butoirs prévues pour la fin des coulées de dalle) lorsque le trafic routier doit être rétabli rapidement après la coulée de la dalle (généralement lorsqu'un pavage temporaire est employé).

Mentionnons que les informations apparaissant à la suite du tableau 4.3-7 s'appliquent aussi aux dalles sur poutres.

L'entrepreneur ne doit pas procéder à l'injection du coulis dans les gaines de l'armature de précontrainte transversale d'une dalle sur poutres si la température du béton environnant est inférieure à 5 °C ou s'il est possible qu'elle chute sous 5 °C dans les 48 heures suivant l'injection (voir l'article 15.6.3.3.5 « Injection du coulis dans les gaines » du CCDG). Le surveillant ne doit pas se préoccuper de cette exigence du CCDG si une protection de type 3 était prévue lors d'un bétonnage par temps froid de la dalle et que la protection est maintenue dans les 48 heures suivant l'injection. Mentionnons qu'il est possible de reporter la mise en place des câbles de précontrainte transversale ou l'injection du coulis au printemps lorsqu'aucune protection de type 3 n'est en place et que la saison hivernale est commencée (consulter le concepteur).

4.3.8.5 Dalle épaisse, tablier en béton précontraint en place et portique

Le tableau 4.3-9, présenté ci-après, résume le type de protection à utiliser pour le bétonnage d'une dalle épaisse, d'un tablier en béton précontraint par post-tension et d'un portique. Il est également à noter que des arbres décisionnels concernant les protections par temps froid sont présentés en fin de chapitre.

Tableau 4.3-9 Type de protection à utiliser pour le bétonnage d'une dalle épaisse, d'un tablier précontraint en place et d'un portique

Zone 1	**1er avril au 30 novembre**			**1er au 20 décembre**		**21 décembre au 31 mars**
	T° < 0 °C	**T° < 5 °C**	**T° > 5 °C**	**T° < - 10 °C**	**T° > - 10 °C**	**Toutes T°**
	Bétonnage à l'air libre interdit	Type 1 (1 ou 2 couches)	Aucune protection	Interdit	Type 4	Interdit
	1er avril au 14 novembre			**15 au 30 novembre**		**1er décembre au 31 mars**
Zones 2 et 3	**T° < 0 °C**	**T° < 5 °C**	**T° > 5 °C**	**T° < - 10°C**	**T° > - 10 °C**	**Toutes T°**
	Bétonnage à l'air libre interdit	Type 1 (1 ou 2 couches)	Aucune protection	Interdit	Type 4	Interdit

Les exigences de bétonnage pour ces types de structures sont similaires à celles des dalles sur poutres traitées précédemment. Les dates où la protection de type 4 est exigée pour le bétonnage sont par contre différentes de celles des dalles sur poutres, car ces éléments sont plus massifs et ils peuvent donc générer plus de la chaleur lors de la réaction d'hydratation du liant.

Mentionnons que les informations apparaissant à la suite des tableaux 4.3-7 et 4.3-8 s'appliquent aussi aux dalles épaisses, aux tabliers en béton précontraint en place et aux portiques.

L'entrepreneur ne doit pas procéder à l'injection du coulis dans les gaines de l'armature de précontrainte si la température du béton environnant est inférieure à 5 °C ou s'il est possible qu'elle chute sous 5 °C dans les 48 heures suivant l'injection (voir l'article 15.6.3.3.5 « Injection du coulis dans les gaines » du CCDG). Si une protection de type 4 n'est pas en place et qu'il fait exceptionnellement froid, il est tout de même fort probable que la température du béton soit au-dessus de 5 °C si la mise en tension est réalisée aussitôt que le béton a atteint la résistance minimale apparaissant dans les plans d'atelier et que l'injection est réalisée dès que possible par la suite.

En période de protection par temps froid, alors qu'une protection de type 4 est utilisée, celle-ci doit être maintenue jusqu'à la fin de la période de protection du coulis. Cette période additionnelle de protection doit être de 10 jours suivant l'injection du coulis, tel que mentionné à l'article 15.4.3.8 du CCDG. À noter que cette protection additionnelle est raccourcie à 7 jours suivant l'injection du coulis pour l'injection des gaines de précontrainte transversale de dalles, cette précontrainte n'ayant normalement pas de rôle structural (consulter le concepteur).

4.3.9 Bétonnage sous l'eau

Le bétonnage sous l'eau est souvent utilisé pour la réparation en surépaisseur de faces submergées de piles ou de culées. Il est également employé pour le bétonnage des pieux caissons (voir la sous-section suivante). Étant donné son coût plus élevé ainsi que sa mise en œuvre et sa surveillance plus difficiles, il est rare que le bétonnage sous l'eau soit utilisé pour les éléments neufs. De façon générale, ces éléments seront coulés à sec à l'intérieur d'un batardeau. Le bétonnage sous l'eau n'est pas une solution de remplacement à la réalisation de batardeaux demandés dans les documents contractuels; en effet, l'entrepreneur n'effectue un bétonnage sous l'eau que lorsque cela fait partie des exigences de son contrat.

Le bétonnage sous l'eau doit se faire au moyen de béton antilessivage (béton de type XV) sauf pour le bétonnage de pieux tubulaires et des bases d'étanchement. Dans le cas des pieux tubulaires (sans armature ni emboîture), le type de béton est habituellement de type XI. Le béton antilessivage (béton de type XV), qui est un béton très dispendieux, n'est pas requis dans ces cas, car le béton est libre de s'écouler à l'intérieur du tube sans rencontrer d'obstacles (armature) et ce béton n'a pas de rôle structural à proprement parler (il ne sert qu'à protéger le tube d'acier de la corrosion et à rigidifier les pieux dans quelques cas). Pour ce qui est des bases d'étanchement, le béton de type V ou XV peut être utilisé.

Le béton antilessivage (béton de type XV) est défini à la norme 3101 du Ministère. La caractéristique principale de ce béton est qu'il contient un adjuvant antilessivage qui permet une mise en place du béton dans l'eau tout en réduisant au maximum la perte de masse due au lessivage; les caractéristiques physiques du béton sont ainsi préservées. La mise en place du béton ne doit pas se faire si la température de l'eau est inférieure à 5 °C; cette exigence s'impose afin de permettre à la réaction d'hydratation du liant de s'effectuer.

Le béton antilessivage (béton de type XV) doit être confiné à l'intérieur d'un coffrage; outre ce rôle de confinement propre à tout coffrage, le coffrage doit aussi restreindre la vitesse de l'eau afin de réduire au maximum le lessivage du béton. Pour ce faire, il doit se prolonger au-dessus de la surface de l'eau ou sur une distance minimale de 2 m au-dessus du niveau final du béton.

Le bétonnage sous l'eau doit obligatoirement s'effectuer au moyen d'une pompe à béton. Celle-ci doit être munie d'une section réductrice à l'extrémité de la ligne de pompage; il faut se référer à la section concernant le transport du béton plastique pour plus d'information. Il y a quelques années encore, le Ministère permettait l'emploi d'une trémie pour la mise en place du béton sous l'eau; cette pratique est maintenant interdite, car la trémie était difficile à manipuler sous les tabliers de ponts et, dans bien des cas, la pression qu'elle fournissait était insuffisante à la mise en place du béton au fond des coffrages.

Les exigences du CCDG expliquent bien la façon de procéder à la mise en place du béton. Ces exigences s'imposent afin d'éviter d'introduire de l'eau dans la masse de béton plastique et ainsi de créer des zones de béton plus poreux. Un béton placé dans une masse compacte aura aussi moins tendance à se lessiver, puisque sa surface exposée est réduite au maximum par rapport à son volume.

Le CCDG exige de prendre les moyens nécessaires afin d'éviter de remplir la ligne de pompage d'eau lors de sa mise en place au fond de l'élément à bétonner. À cette fin, il arrive souvent que l'entrepreneur coince une balle de caoutchouc dans la ligne de pompage avant de faire descendre l'extrémité de la ligne de pompage dans l'eau. Cette boule est ensuite expulsée par le béton en début de bétonnage. Pour être efficace, cette balle doit présenter une densité lui permettant de conserver sa forme sous la pression du bétonnage et celui de l'eau, pour ainsi séparer le béton de l'eau dans la ligne. Une balle trop molle ou une éponge serait inefficace puisqu'elle se comprimera sous la pression, laissant ainsi entrer l'eau dans la ligne de pompage. Il est aussi possible d'utiliser une trappe ou une plaque temporaire à l'extrémité de la ligne de pompage, cette dernière étant maintenue contre la ligne de pompage par la pression de l'eau. Finalement, une dernière option pourrait être de remplir la ligne de pompage de béton avant de la descendre dans l'élément à bétonner. Par contre, il faut dans ce cas, utiliser un étrangleur à la partie supérieure de la ligne, dans une portion souple, afin d'éviter que la ligne se vide progressivement du béton avant d'avoir pu positionner celle-ci au fond du coffrage.

Lors de la descente de la ligne de pompage, le surveillant doit s'assurer que celle-ci est bel et bien déposée au fond de l'élément avant de commencer le bétonnage. Pour s'en assurer, il suffit de placer un repère visuel sur la ligne de pompage (ruban adhésif ou peinture) à une hauteur correspondant à la profondeur des coffrages. Ce marquage est d'ailleurs exigé pour le bétonnage des pieux caissons, car ces éléments sont en général très profonds et il est difficile d'apprécier avec justesse la profondeur de l'extrémité de la ligne de pompage sans ces repères.

Dans le cas d'une réparation avec coffrages et surépaisseur effectuée sous l'eau, l'entrepreneur doit réaliser une inspection des étapes importantes des travaux à l'aide d'une caméra vidéo. Cette caméra vidéo est fixée au casque d'un plongeur et c'est le surveillant qui dirige les mouvements du plongeur à partir d'un moniteur. Le surveillant se doit d'être vigilant et ne pas hésiter à demander au plongeur de s'attarder sur une partie spécifique de l'ouvrage pour s'assurer que tout est bien conforme aux exigences.

Pieux caissons

Les pieux caissons qui contiennent de l'eau, que ce soit en tout ou en partie, doivent être bétonnés au moyen d'un béton antilessivage. Lorsque le bétonnage commence avec un béton antilessivage, tout le pieu est en général bétonné avec ce type de béton, et ce, jusqu'à la semelle ou au chevêtre de la pile.

Les pieux caissons comportent beaucoup d'armatures et une profondeur qui est en général assez importante (plus de 10 m). Ces particularités engendrent des défis pour le bétonnage sous l'eau, entre autres à l'endroit du positionnement de la ligne de pompage. Le surveillant doit être particulièrement vigilant pour s'assurer que la ligne de pompage est bel et bien descendue au fond de l'emboîture du pieu au début du bétonnage. Il est possible, en effet, que la ligne de pompage s'accroche sur les armatures ou sur les croix de support de ces dernières lorsqu'elle est descendue dans le pieu, bien que ces éléments doivent être conçus et installés de manière à ne pas nuire au bétonnage. En exigeant un marquage des élévations sur la ligne de pompage, le surveillant et l'entrepreneur seront donc à même de constater que la ligne de pompage est suffisamment descendue dans le pieu au moment du début du bétonnage. Ces repères pourront également servir lors du bétonnage quand viendra le temps de remonter la ligne de pompage.

Comme tout bétonnage sous l'eau, la ligne de pompage doit être remontée au fur et à mesure que le bétonnage du pieu progresse, de manière à toujours rester dans la masse de béton à au moins 2 m de la surface de ce dernier. Cette exigence de maintenir 2m permet d'avoir une marge de manœuvre en cas de manipulation trop rapide de la ligne et permet aussi d'éviter que le béton de la surface subisse un brassage lors de l'injection du nouveau béton dans la masse. La méthode de bétonnage soumise par l'entrepreneur doit refléter cette exigence. Afin de s'assurer que la ligne est relevée au bon moment et que la valeur est adéquate pour que son extrémité demeure dans la masse de béton, le surveillant et l'entrepreneur devraient évaluer la valeur du béton qui remonte à l'intérieur du pieu pour chaque camion livré. Cette règle de trois très simple consiste tout simplement à comparer le volume de béton d'un camion malaxeur (en général environ 5 m^3) au volume correspondant du pieu, qui est fonction de son diamètre.

Une pratique qui doit être évitée est celle de maintenir la ligne stationnaire au fond du pieu pour la coulée de plusieurs mètres de hauteur dans le pieu avant d'amorcer la remontée de la ligne dans le pieu. Cette façon de faire conduit presque inévitablement à une remontée subite de la ligne due à un phénomène de succion et de frottement qui empêche sa remontée; ce phénomène peut s'apparenter à celui d'une botte qui reste

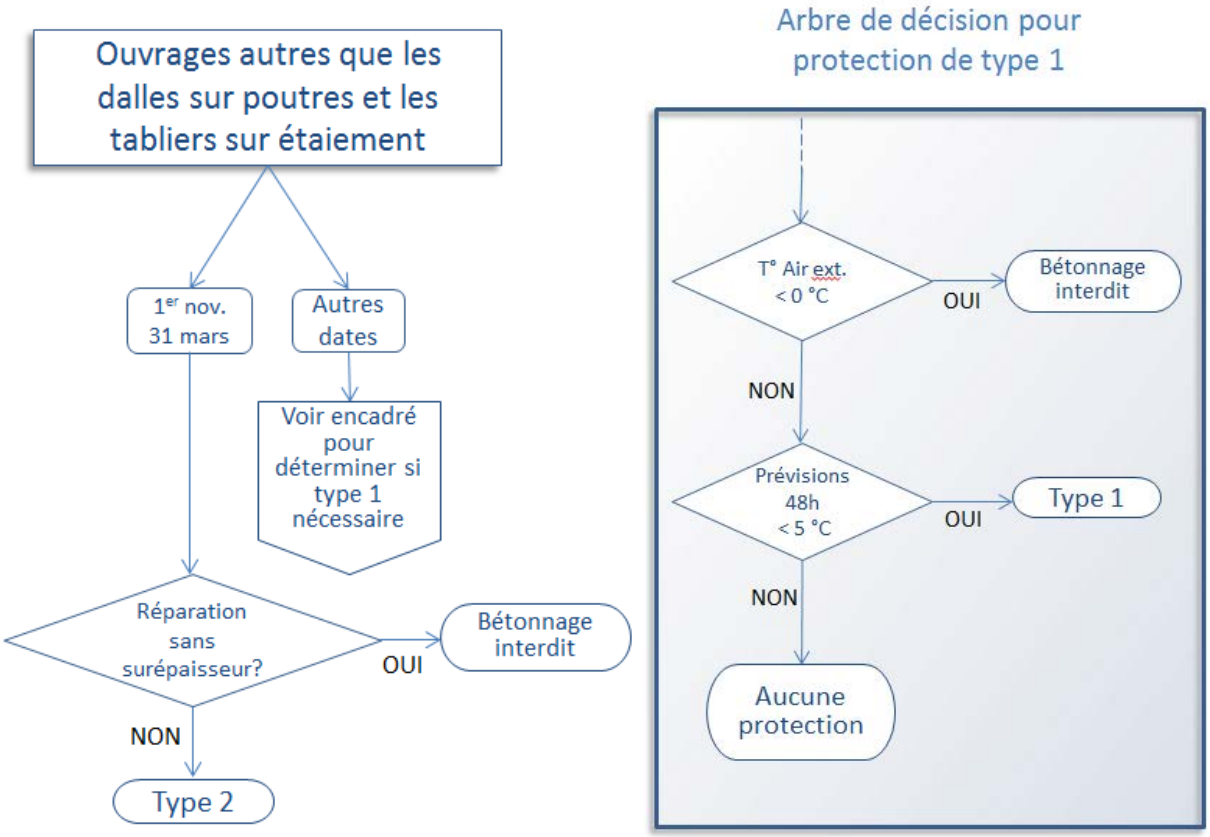
coincée dans la vase lorsqu'elle y est enfoncée. Toutefois, une fois le mouvement de la ligne de pompage amorcé vers le haut, il est difficile pour l'opérateur de la pompe de stopper la ligne et il est alors possible que l'extrémité de la ligne sorte de la masse du béton. Il demeure également souvent dans la masse de béton une zone mal consolidée correspondant à l'endroit où était la ligne avant sa remontée (cette zone est visible lors des essais d'auscultation sonique).

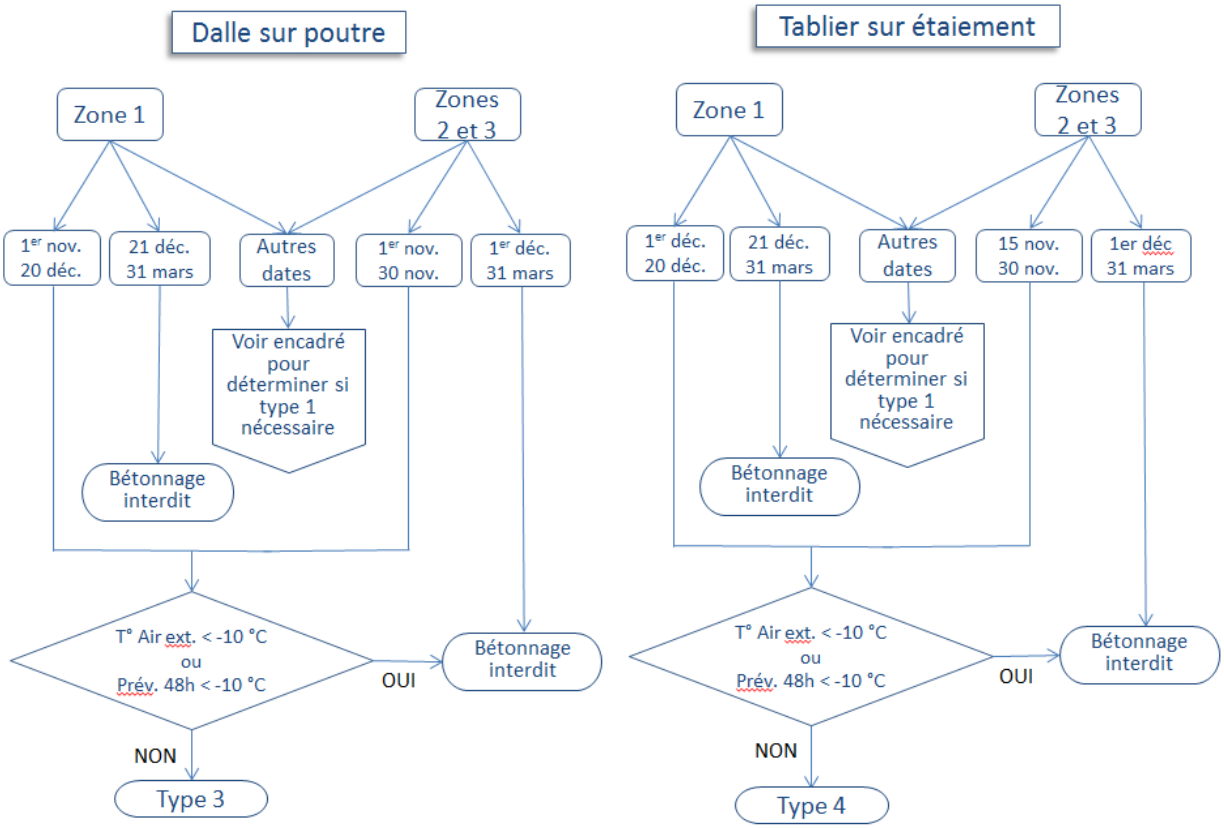
Le CCDG précise que la partie supérieure des pieux doit être vibrée une fois que toute la laitance et l'eau sont évacuées du tube. Ce moment est en général assez facilement identifiable, il faut comparer la couleur et la consistance du matériel éjecté du tube lorsque le béton est rendu à son niveau supérieur. Le premier matériel à déborder du tube est en général très liquide et plus pâle que le béton. Après quelques minutes, la couleur du matériel qui déborde est en général plus foncée et plus uniforme. Après l'évacuation de la laitance, donc, des vibrateurs à béton doivent être plongés sur les 2 m supérieurs du tube selon les exigences énoncées à la section précédente sur la vibration. Le but de cette vibration est de consolider le béton à la partie supérieure. Le béton en deçà de 2 m de profondeur n'a pas à être vibré, car la pression du béton au-dessus est en principe suffisante pour le forcer à bien remplir les vides et l'espace compris entre les étriers du pieux et le tube.

Mentionnons finalement que la vibration d'un béton antilessivage ne doit pas être réalisée pour les ouvrages autres que les pieux et que la partie supérieure du pieu, après vibration, n'a habituellement pas à être finie, car du béton de semelle ou de chevêtre devra être coulé subséquemment contre cette surface. Une cure conforme aux exigences du CCDG doit toutefois y être réalisée.

Arbres décisionnels pour déterminer le type de protection par temps froid

(Référence : Articles 15.4.3.8.3 à 15.4.3.8.5 du CCDG)




Dalle sur poutre
Zone 1
Zones 2 et 3
1er nov. 20 déc.
21 déc. 31 mars
Autres dates
1er nov. 30 nov.
1er déc. 31 mars
Voir encadré pour déterminer si type 1 nécessaire
Bétonnage interdit
T° Air ext. < -10 °C ou Prév. 48h < -10 °C
OUI
Bétonnage interdit
NON
Type 3
Tablier sur étaiement
Zone 1
Zones 2 et 3
1er déc. 20 déc.
21 déc. 31 mars
Autres dates
15 nov. 30 nov.
1er déc 31 mars
Voir encadré pour déterminer si type 1 nécessaire
Bétonnage interdit
T° Air ext. < -10 °C ou Prév. 48h < -10 °C
OUI
Bétonnage interdit
NON
Type 4

PHOTOGRAPHIES

OUVRAGES EN BÉTON



Coffrages verticaux



Coffrages de grandes dimensions



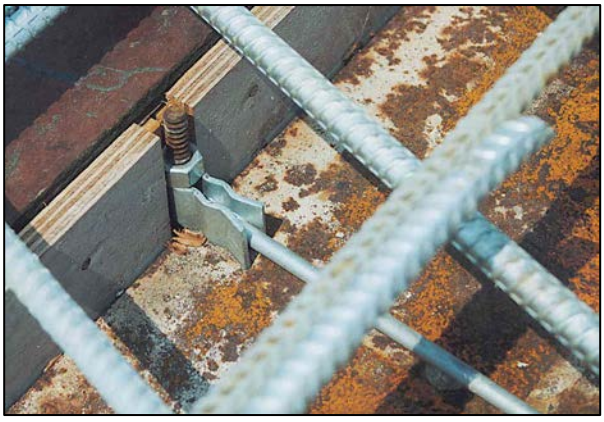
Attache de coffrage type « attache avec boudins »



Ancrages utilisés en combinaison avec tirants pour travaux d'entretien



Selles ajustables en hauteur



Détail d'une selle ajustable



Supports de coffrages de dalle en porte-à-faux



Étaiement



Étaiement



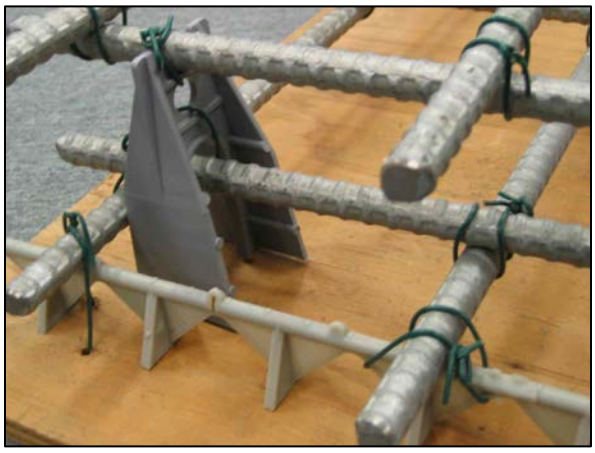
Détail de la base des étais (poteaux)



Protection d'étaiement avec gabarit et glissières



Espaceur circulaire pour armature verticale



Cales types pour armatures de dalle sur poutres



Armatures supplémentaires pour goussets importants (dalle sur poutres)



Bâton et clou pour vérifier l'élévation des armatures (par rapport au coffrage)



Jet d'abrasif humide



Nettoyage final des coffrages



Pompe à béton



Pompe à béton remorquée



Bétonnière mobile



Détail des contrôles d'une bétonnière mobile



Bétonnage au moyen d'ouvertures temporaires dans les coffrages



Insertion du vibrateur dans les ouvertures de coffrage (réparation)



Rail de roulement pour équipement de finition pour le béton de la dalle



Remblai temporaire pour rail de roulement à l'approche d'un pont



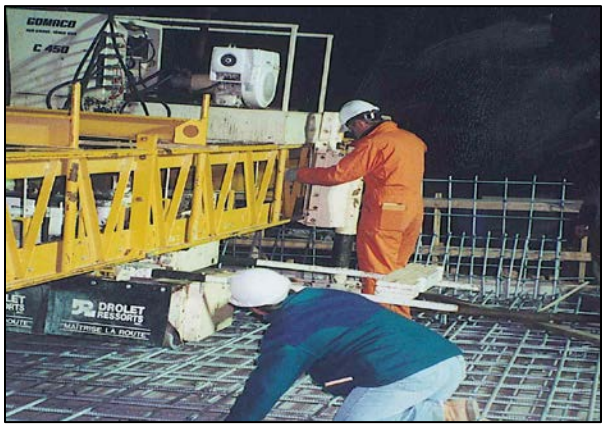
Vérification du profil final du rail de roulement



Finisseuse à béton automotrice



Détail du module mobile de la finisseuse automotrice



Ajustement de la finisseuse à béton automotrice



Règle vibrante



Détail de la règle vibrante



Finition de la dalle sur plate-forme



Finition manuelle des abords de dalle



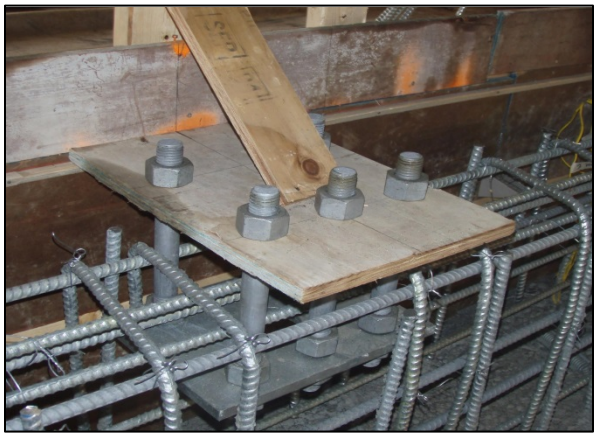
Boudins pour joint de construction d'urgence



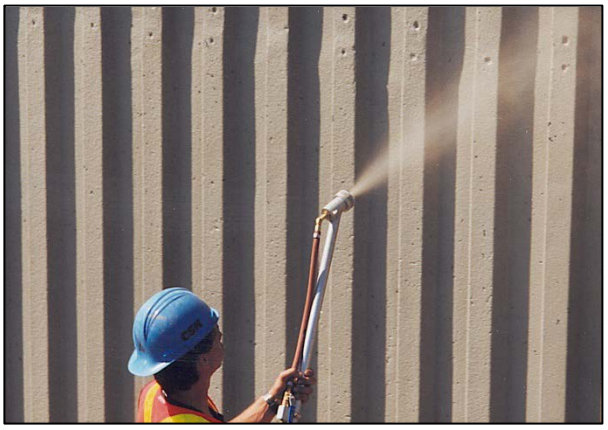
Humidification préalable à la cure



Béton décoffré avant correction des surfaces



Supports pour ancrages de glissière



Enduit de surface



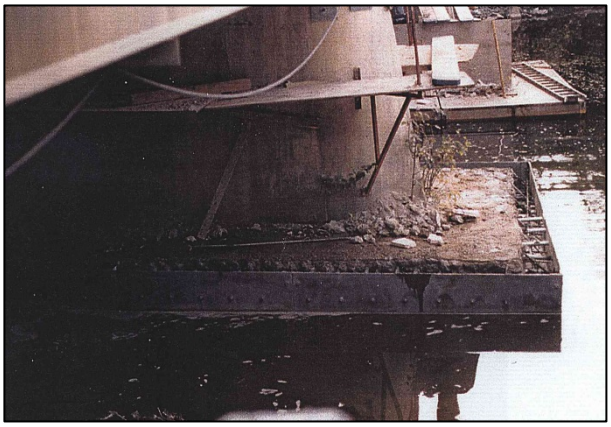
Prise de température des surfaces de contact (thermomètre infrarouge)



Protection type 2



Protection type 3 – poutres dans l'abri et unités de chauffage hors abri



Coffrage métallique pour bétonnage sous l'eau

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 4 – OUVRAGES EN BÉTON

NOTE

Ce chapitre s'applique à tout type d'ouvrage en béton, en béton armé ou en béton précontraint réalisé en tout ou en partie avec du béton coulé en place ou préfabriqué. Voir l'énumération des éléments concernés au CCDG.

Voir les notions d'arpentage au début de ce chapitre.

MATÉRIAUX

Les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

Béton

- Norme 3101 du Ministère : béton de tout type y compris les bétons autoplaçant (XIV-C, XIV-R ou XIV-S), antilessivage (XV), au latex (XVI-5 ou XVI-15) et semi-autoplaçant (XVII)
- Béton de type XIII : 10 MPa à 24 heures
- Usine back up : voir le CCDG

Armature

- Norme 5101 du Ministère (nuance 400 W)

Matériaux de cure

- Norme 3501 du Ministère

Imperméabilisant à béton

- Norme 3601 du Ministère

Enduits de surface

- Norme 31101 du Ministère

Mortiers cimentaires en sacs

- Norme 3801 du Ministère

Coulis cimentaire

- Norme 3901 du Ministère

Doublure de coffrage

- Norme 31001 du Ministère

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

Planche compressible

- Selon l'article 15.4.1.8 du CCDG

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

- L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite notamment selon les prescriptions du Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport.
- Se servir de la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées » avant d'accepter un produit. Cette liste est disponible sur le site Internet du Ministère.
- Produits manufacturés à plusieurs composants : utiliser des contenants gradués
- Armature
  - Nom de l'aciérie canadienne ISO à obtenir (aucun contrôle de réception)
- Béton
  - Se servir du Guide du contrôle de la qualité du béton (disponible aux Publications du Québec)
  - Formation d'un lot particulier pour le béton d'une dalle sur poutres ou d'un tablier en béton précontraint en place (prélèvement de 2 échantillons si moins de 75 m3 de béton)
- Bétonnière mobile : voir le texte de ce chapitre
- Ancrages : résistance à l'arrachement, voir le CCDG et devis
- Cylindres témoins : pour vérifier la résistance atteinte par le béton en chantier, entrepreneur est responsable de leur confection.
- Essai de convenance (pour vérifier caractéristiques du béton et mise en place)
  - Béton coulé en place au moyen d'une pompe
  - Béton de type V-S XIII, XIV-C, XIV-R, et XV et XVII
  - La perte notée lors de la mesure de la teneur en air avant et après pompage sert à l'ajustement des exigences avant pompage lors de la coulée dans l'ouvrage; un gain en air n'est pas pris en compte pour l'ajustement.
  - Équipement
    - → Pompe utilisée doit avoir même système de pompage et longueur de mât au moins aussi long que celle prévue lors du bétonnage
    - → Configuration du mât de la pompe : la dernière demi-portion en position verticale
    - → Accessoires à la fin de la ligne de pompage : section réductrice d'au moins 20%, section en « S » (2 coudes à 45° d'au moins 275 mm chacun) et dispositif de fermeture
    - → La section réductrice (%) doit correspondre à celle utilisée pour la coulée
    - → Les accessoires comme les dispositifs étrangleurs et les boyaux flexibles plats doivent être installés à l'essai de convenance s'ils doivent être utilisés pour la coulée
  - Réalisé dans semelle ou dalle de transition. Si pas de semelle, à faire hors de l'ouvrage à construire
  - Environ 5 m3
  - Réunion préalable 7 jours avant l'essai
  - Essai à faire 14 jours avant le bétonnage
  - Avis de 24 heures au surveillant avant l'essai
  - Bétonnage autorisé si résultats des essais à 14 jours sont conformes

MISE EN ŒUVRE

- Généralités
  - Vérifier l'efficacité du filtre à air du compresseur pour éviter huile sur béton (jet d'air ou jet d'abrasif humide)
  - L'entrepreneur doit recevoir l'autorisation du surveillant avant de fixer des coffrages ou des ouvrages provisoires au béton existant
  - Réunion préalable à la fabrication d'éléments préfabriqués : pour murs et ponceaux

    → 4 semaines de délai minimum pour information du nom du fabricant et de l'usine de fabrication

    → À tenir après que le surveillant a en main les documents demandés au CCDG

    → Si plus d'une usine, réunion à chaque usine

Coffrages

- Conception
  - Selon norme CAN/CSA-S269.1
  - Coffrages coulissants interdits pour chasse-roues, trottoirs ou glissières
  - Plans signés par un ingénieur à fournir si

    → Élément de plus haut que 4 m de hauteur

    → Rails de roulement sur coffrages en porte-à-faux (dalle), notes de calculs à fournir pour dalle (porte-à-faux et attenant à phase de travaux)

    → Coffrages coulissants ou auto-élévateurs

    → Coffrages ou le béton est coulé par pompage
  - Même matériau en contact avec le béton
  - Coffrages de grandes dimensions (PERI, ALUMA ou EFCO)

    → Plans préparés et signés par l'ingénieur du fabricant des coffrages (PERI)

    → Respecter la symétrie de l'ouvrage, minimiser le nombre de joints et montrer attaches des coffrages

    → Même matériau en contact avec le béton

    → Attaches des coffrages : cônes de 100 mm (PERI)
  - Réception des documents, s'assurer que :

    → La vitesse de bétonnage (m/h), le temps de prise et la température du béton sont sur les plans ou une note, indiquant que la hauteur de béton plastique peut être égale à la hauteur des coffrages, est sur les plans
- Mise en place
  - Tolérances de construction à respecter
  - Avis écrit de conformité signé par un ingénieur (suite à inspection par cet ingénieur) si plans de coffrages à fournir (doit accompagner l'avis de bétonnage)
  - Chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables et glissières : corriger selon profil longitudinal final de la dalle (portique, poutres en béton précontraint coulé en place)
  - Ouvertures temporaires de bétonnage lorsque requis
  - Réparation avec coffrages et sans surépaisseur : même plan que surfaces environnantes
- Coffrages en bois
  - Panneaux de contreplaqué sur surfaces hors sol apparentes (dimensions 600 X 2 400 mm partout où c'est possible)
  - À l'état neuf
- Accessoires de coffrages
  - Attaches de coffrages

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

→ Galvanisées lorsque l'armature est galvanisée

→ Avec cônes vissés de plastique (longueur cône choisie pour avoir 25 – 50 mm entre l'extrémité de l'attache et la surface du béton)

→ Capacité minimale : 20 kN en service, soit diamètre de 12 mm (snap tie interdit)

→ Même ligne verticale

→ À angle droit par rapport aux coffrages (sinon biseauter les cônes)

→ Placer les attaches à l'intérieur des cages d'armature (sauf les extrémités avec cônes)

→ Aucune attache sur :

- Chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables et glissières, côté de dalle, éléments précontraints coulés en place et sur poutres en béton lors réfection côté extérieur de dalle (permis sur dessus poutre)
- Chasse-roues, trottoirs : Ancrage à la dalle au moyen de clous sans outils de détonation
- Glissières : ancrage mécanique à la dalle (dessus douille : 60 mm sous la surface de béton) ou ancrages en acier inoxydable coupés en surface de la dalle après utilisation

→ Aucune soudure sur les éléments du pont

- Dalle sur poutres :

→ Selles ajustables en hauteur

- Galvanisées
- Largeur : largeur de poutre + 20 mm max.
- Doivent se prolonger sous le niveau du dessus des poutres supportant coffrages en porte-à-faux
- Placées perpendiculairement aux poutres supportant coffrages en porte-à-faux
- Cochets des demi-selles uniquement sur la face intérieure des poutres de rive

→ Supports métalliques (porte-à-faux)

- Enduit caoutchouté aux appuis sur poutres d'acier
- Espacement constant
- Pas supporté sur éléments de fondation ou à partir du sol

→ Supports ajustables de type « Borg »

- Uniquement sur poutres en acier de 1 000 mm et plus de profondeur
- Utilisation obligatoire d'un pontage
- Consulter le concepteur pour vérifier le gousset minimal requis vs le profil de la route

- Pente des coffrages avant bétonnage

→ Tablier neuf sans biais : identique aux plans. Dalle sur poutres existantes ou tablier neuf avec biais : voir le manuel

- Travaux d'entretien

→ Tirants ancrés dans béton (profondeur : 200 mm, ϕ : 12 mm, espacement : 600 mm c/c, longueur cônes choisie pour avoir 25 – 50 mm entre l'extrémité de l'attache et la surface du béton) sinon ajouter ancrages

→ Réparation avec coffrages et sans surépaisseur : tirants à placer à l'intérieur de la réparation

→ Pas de plaques minces insérées entre les cônes de plastique et la paroi du coffrage

- Éléments préfabriqués

→ Éléments de levage commercialises à cette fin, galvanisés, recouvrement minimal 10 mm

– Préparation

- Agent de décoffrage posé avant l'installation des armatures
- Doublure de coffrage lorsque requise, même type de doublure pour tout le pont, éviter plis, à

rabattre sur les bords de chaque panneau, à utiliser qu'une seule fois, si posée en usine : protéger contre les intempéries

- Arêtes vives chanfreinées (sauf semelles, dalles de transition, épaulements des joints de tablier à plus d'une garniture)

– Nettoyage
  - Aspirateur à privilégier
  - Eau propre
– Enlèvement (béton coulé en place)
  - Attention à ne pas endommager le béton (surtout bétons de type XIV-C, XIV-R, XIV-S et XVII)
  - Minimum de 3 jours après le bétonnage (cure à faire si enlèvement effectué avant minimum requis)

    → Pas de résistance minimale de spécifiée pour les coffrages mais 70% de f'c spécifiée pour les éléments de support (étaiements)
  - Béton type XIII : minimum de 7 jours après le bétonnage (sauf si T° > 15 °C : à enlever après 3 jours)
  - Desserrement est considéré comme un enlèvement
  - Les enlever partout, y compris les chanfreins, les larmiers et sous les joints de tablier

Étaiement

– Conception
  - Selon CAN/CSA-S269.1, plans signés par un ingénieur à fournir, plans à envoyer à la CCST par l'entrepreneur
  - S'assurer que les charges, la capacité et la nature du sol ainsi que l'affaissement de l'étaiement sont sur les plans
– Mise en place
  - Vérifier que le sol correspond aux exigences des plans fournis
  - Sol gelé : matériaux granulaires à prévoir si dégel possible
  - Avis écrit de conformité signé par un ingénieur une fois l'étaiement mis en place
  - Si au-dessus d'une voie de circulation

    → Base à protéger

    → Hauteur et largeur du passage conformes

    → Informer DGT

    → sur restrictions imposées
– Enlèvement
  - Après atteinte de 70 % f'c (sauf tablier en béton précontraint par post-tension : après que le coulis d'injection a atteint 20 MPa)
  - Vérification de la résistance atteinte par éprouvettes témoins maintenues dans les mêmes conditions que l'ouvrage
  - Application progressive des efforts sur l'ouvrage

Armature

– Bordereaux
  - Vérifier les bordereaux du MTQ avant de commencer le projet
  - Ne pas viser les plans de pose de l'entrepreneur
  - Si changements effectués sur plans de pose, doivent être clairement identifiés par l'entrepreneur

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Aviser le concepteur des changements

– Réception en chantier ou en usine de préfabrication
  - Vérifier si entreposage adéquat
  - Vérifier marques d'aciérie vs nom d'aciérie déjà fournie
  - Vérifier si acier W partout
  - Vérifier Fy et diamètre des barres
  - Vérifier dimensions des étriers et les rayons de courbure ou de pliage
    → Rayons de courbure minimums selon la norme 5101 du Ministère
    → Tolérances selon la figure 6-1 du *Manuel des normes recommandées* de l'Institut d'acier d'armature du Canada, sauf rayons de courbure minimums
    → Tolérance sur rayons de courbure minimum, 10% de la valeur jusqu'à concurrence de 25 mm.
    → Rejeter toute armature non conforme
  - Galvanisation
    → Vérifier si faite lorsque requise dans les bordereaux
    → Vérifier si jonctions mécaniques sont galvanisées (lorsque les barres à relier sont galvanisées)
    → Vérifier si pliage fait après la galvanisation : enduit riche en zinc sur extrémités de barres coupées après galvanisation
    → Vérifier la qualité de la galvanisation (traitement au chromate n'est plus obligatoire)
  - Vérifier état des armatures (rouille excessive, saleté, déformation)

– Mise en place
  - Réparation : longueur minimale de 6 m partout où c'est possible
  - Enrobage de béton des armatures
    → Selon les valeurs demandées sur les plans (si pas aux plans, voir le CCDG)
    → Plier les ligatures vers l'intérieur de l'élément
    → Attacher les barres à chaque croisement (tous les 2 croisements si espacement < 300 mm), fils galvanisés pour armatures galvanisées
    → Remettre en place et attacher les barres existantes déplacées lors de la démolition de béton (de façon à obtenir l'enrobage requis et 25 mm entre les barres et le béton à conserver)
    → Cales en plastique : espacement max.de 1 200 mm c/c
      - Cales continues pour nappe inférieure
      - Pavés conformes à la norme 3402 du Ministère pour nappe inférieure des semelles et des dalles de transitionCales individuelles pour nappe supérieure
      - Cales rondes pour nappe verticale (n^{os} 10 et 15)
      - Cales individuelles pour nappe verticale (n^{os} 25 et plus)
      - Cales munies de patin de glissement pour les pieux-caisson

– Les cales doivent correspondre avec le recouvrement théorique demandé aux plans

– Vérifier les tolérances de pose (voir le manuel)

– Pliage–coupage en chantier
  - Ne pas plier barres galvanisées
  - Barres non galvanisées : minimum requis
  - Si nécessaire, plier mécaniquement et à froid
  - Éviter de couper barres galvanisées, si absolument nécessaire de couper : extrémité coupée là où c'est le moins dommageable et enduit riche en zinc

– Jonctions

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Seulement aux endroits indiqués sur les plans
- Jonctions mécaniques si indiquées aux plans, ne pas substituer sans l'accord du concepteur
- Longueurs des chevauchements selon les plans, si pas sur les plans : 600 mm pour barre 15M, 700 mm pour barre 20M (autres diamètres : voir le concepteur)
- Pas de tolérance sur les jonctions; la valeur indiquée correspond au minimum demandé

– Dalles
- Ne pas attacher les armatures de dalle et des diaphragmes ensemble
- Ajouter armature supplémentaire pour goussets importants (2 barres 15M et étriers). Galvaniser lorsque l'armature de la dalle l'est aussi. Armature positionnée à moins de 30° par rapport à la verticale et 25 mm au-dessus de la poutre

  → Consulter le concepteur pour déterminer la quantité
- Niveau de la nappe supérieure par rapport aux coffrages conforme (épaisseur de dalle – 60 mm)
- Ne pas couper armatures vis-à-vis des drains (contourner)

– Chasse-roues et glissières
- Doubler les armatures aux discontinuités
- Glissière type 311B : installer les tiges d'ancrage avant les armatures longitudinales
- Avant bétonnage : vérifier l'élévation des gabarits en bois au droit des poteaux
- Marquer le niveau du dessus de la dalle sur les barres d'armatures lors du passage à vide

– Joints de chantier à plus d'une garniture
- Vérifier présence ou non d'un conflit entre les armatures et les boîtes des barres de support; si oui, consulter le concepteur

– Corrosion des barres existantes (réparation)
- Ajout d'armature à demander si perte de section $>$ 30 %

– Avis de conformité (armatures et tiges d'ancrage)
- Utiliser le formulaire du Ministère (voir le devis spécial)
- Avis écrit signé par un ingénieur une fois l'armature et les coffrages terminés (doit accompagner l'avis de bétonnage). L'avis doit mentionner la nuance, le type de protection, le diamètre, la longueur, l'emplacement, l'enrobage et l'espacement des ligatures

  → L'avis doit aussi couvrir les tiges d'ancrage (position, diamètre, etc.)
- Colonnes et chevêtres

  → Mesurer la largeur hors-tout de la cage d'armature (2 mesures par m)

  → Aviser l'entrepreneur (retenue temporaire et/ou refaire la mise en place de l'armature)

Ancrages

– Généralités
- Ancrages au coulis cimentaire ou résine chimique si pas spécifié sur les plans et devis
- Forage au diamant : sur permission du surveillant
- Tige métallique : armature no 15 (crochet de 100 mm) ou spécification des plans
- Conformité des trous (inclinaison, dimensions)

– Ancrages au coulis cimentaire
- Nettoyage : brossage suivi d'un jet d'eau sous pression
- Évacuer le surplus d'eau
- Température du béton et de l'air ambiant supérieures à 5 °C
- Prévisions supérieures à 5 °C pour les 48 heures suivantes

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Ancrages à la résine chimique
  - Fournir la fiche technique au moins 7 jours avant les travaux
  - Nettoyage : généralement 2 brossages + 2 jets d'air + 2 brossages
  - Piston d'injection pour trous profonds (≥ 300 mm) et ancrages au plafond
  - Si capacité structurale spécifiée : essais en traction à faire

Béton

- Divers
  - Vérification préalable à la réception du béton : voir l'article 15.4.2.1.3 du CCDG
  - Possibilité offerte à l'entrepreneur pour le droit de recours (résistance à la compression du béton) voir l'article 15.4.2.1.4 g) du CCDG
  - Fiches descriptives des mélanges

  → 7 jours avant le bétonnage

  → Béton type V-S, XIII, XIV-C, XIV-R, et XV et XVII (lorsque mis en place au moyen d'une pompe) : 14 jours avant l'essai de convenance

  → Vérifications à faire par le surveillant :
    - Bons types de béton
    - Superplastifiant lorsque requis
      - Si superplastifiant à base de polycarboxylate est utilisé : Temps de prise à vérifier (voir le devis)
- Béton à prise rapide
  - Bétonnière mobile
  - Durée minimale de la cure : 4 heures
  - Délai minimal entre la fin de la cure et la pose d'une membrane d'étanchéité : 4 heures
  - Difficilement utilisable par temps froid (T° du béton $>$ 10 °C pendant 3 jours)
- Préparation des surfaces à conserver (jet d'abrasif humide ou jet d'eau haute pression)
  - Pour réparation seulement
  - Nettoyer barres d'armature et béton exposé après démolition du béton (enlever rouille, particules lâches et débris) au jet d'eau haute pression

    → N'est pas réalisé si la démolition s'effectue à l'hydrodémolition
  - Enlever éclaboussures de béton séché (armature et coffrages)
  - Nettoyage final à faire (jet d'eau sous pression) – Réalisé dans tous les cas
  - Humidification des surfaces (saturées, surfaces sèches)
  - Eau propre (selon norme 3101 du Ministère pour eau de gâchage)
- Autorisation de bétonnage
  - Avis de bétonnage (accompagné des avis de conformité pour les coffrages et l'armature)

  → 24 heures avant le bétonnage, indiquant que :
    - Coffrages et armatures sont conformes
    - Séquence de bétonnage (étapes de bétonnage d'une dalle, étapes de bétonnage au droit d'un joint de construction vertical, mesures d'atténuation vibrations (circulation maintenue) et emplacement pompe et ligne de pompage : 14 jours avant le bétonnage)

  → Avis du surveillant autorisant le bétonnage
    - Voir les vérifications du CCDG et du manuel avant remise de l'avis écrit autorisant le bétonnage

→ Avis de bétonnage (accompagné des avis de conformité pour les coffrages et l'armature)

→ Avis du surveillant autorisant le bétonnage

- Joints de construction
  - Seulement les joints indiqués sur les plans
  - Consulter le concepteur pour les joints non prévus
  - Joint de construction vertical : en 2 étapes
  - Resserrer les coffrages et préparer les surfaces de contact avant la reprise des travaux
  - Joint de construction horizontal ou vertical : nettoyer au jet d'eau 15 MPa ou 2 250 lb/po2
  - Béton de plus de 14 jours : humidifié jusqu'à saturation (sec en surface avant bétonnage)
- Transport du béton plastique
  - Vérifier le rythme de bétonnage en fonction du nombre d'ouvriers prévu
  - Vérifier la propreté des équipements
  - Déversement vertical
  - Ne pas déformer ou déplacer les coffrages et armatures
  - Pompe à béton

    → Encourager pompe de rechange (surtout pour portiques ou pieux caissons)

    → Doit avoir même système de pompage et longueur de mât inférieure ou égale que celle utilisée lors de l'essai de convenance (pour bétons de type XIII, XIV-C, XIV-R, XV et XVII ainsi que V-S si exigé)

    → Accessoires à la fin de la ligne de pompage :
      - Section réductrice de 20% ou plus, pourcentage de réduction identique que celui utilisé à l'essai de convenance
      - Section en « S » (2 coudes à 45° d'au moins 275 mm chacun)
      - Dispositif de fermeture
      - Éléments verticaux : section en « S » juste au-dessus du niveau des coffrages et pas de dispositif de fermeture

    → Pieux caissons : la longueur mesurée de la conduite de la pompe (à l'intérieur du tube) doit être égale à la hauteur du tube plus celle de l'emboîture
- Mise en place du béton plastique
  - Pompe à béton : le premier 0,5 m3 de béton à rejeter
  - Couche maximale : 500 mm
  - Hauteur maximale de chute libre : 1,5 m
  - Déplacement latéral maximal : 1,5 m (sauf béton type XIV-R : 10 m)
  - Délai maximal de déchargement : 120 minutes (même délai si superplastifiant à base de polycarboxylate est utilisé). Délai augmenté pour grande distance de transport, à être approuvé par le surveillant et prévu à l'essai de convenance s'il y a lieu
  - Arrêt imprévu : joint de construction à faire si un début de prise est constaté (voir le texte de ce chapitre)
  - Réparation : ouvertures temporaires des coffrages à bloquer au niveau des coffrages environnants
  - Pluie (dalle, trottoir ou piste cyclable)

    → Pas de bétonnage s'il pleut (ou si probabilité de pluie)

    → Vérifier probabilités de pluie avant bétonnage

    → S'il pleut durant bétonnage : toiles protectrices à mettre en place et joint de construction à faire

    → Dalle :

  - Risques de pluie : diminuer la largeur de béton plastique devant l'équipement de finition et accélérer la finition derrière l'équipement
  - Pluie imminente : faire finition du béton mis en place et arrêter travaux
  - Si pluie ne cesse pas : interrompre le bétonnage (vider camions en attente si entente écrite avec l'entrepreneur : lever équipement de 5 mm et meuler après la cure)
  - Joint de construction en urgence : rectiligne, selon le biais et avec des tiges de support en mousse. À localiser comme indiqué au manuel
- Pluie (autres éléments)

  → Bétonnage permis s'il pleut mais éviter l'accumulation d'eau en surface du béton lors de la coulée

  → Protection de la surface du béton de tout apport d'eau pendant la finition jusqu'au début de la cure
- Affaissement des étaiements à mesurer
- Joint dalle sur culée

  → Surface du dessus du garde-grève : horizontale

  → Membrane autocollante bien collée sur garde-grève avant le bétonnage de la dalle

  → Système de drainage préfabriqué (âme drainante flexible) : en contact en tout point avec la culée

  → Structure existante : vérifier pause du mastic d'étanchéité à la partie supérieure de la bande de caoutchouc

  → Ouverture dans chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables ou glissières : 25 mm, droite, bétonnée en 2 phases, pente de 50 mm vers l'intérieur à la base, garniture compressible en retrait de 15 mm

  → Réparation de dalle épaisse ou autres ponts similaires : support temporaire peut être nécessaire

  → Travée de plus de 30 m : lorsque bétonnage débute au joint-dalle, joint de coulée pour la portion au-dessus du garde-grève

Dalles

- Afin d'alléger cet aide-mémoire, la finition des dalles est transférée à la fin de celui-ci
- Vibration du béton
  - Pas de vibration nécessaire pour les bétons de type XIV-C, XIV-R, XIV-S et XV

    → Sauf pieux caissons avec type XV, 2 m partie supérieure à vibrer

    → Éléments en béton de type XVII, vibrer de façon moins intense
  - Interdit de déplacer le béton avec le vibrateur
  - Vibrateur enfoncé verticalement
  - Respect des hauteurs de levées maximales permet de vibrer toute l'épaisseur de la levée et marier avec la couche sous-jacente
  - Utilisation de rallonges ou de cordes si surface du béton n'est pas directement accessible par les ouvriers
  - Espacement adéquat des enfoncements
  - À chaque enfoncement : maintenir le vibrateur suffisamment longtemps
  - Nombre de vibrateurs : selon ϕ de la tête du vibrateur et taux de mise en place du béton (vibrateur de rechange)
  - Réparation : utiliser un vibrateur de faible diamètre si peu d'espace dans les coffrages, ou mieux un béton autoplaçant
  - Dispositifs de retenue en acier : bien vibrer au droit des tiges d'ancrage

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Finition du béton
  - Ne pas utiliser :
    - → De l'eau ou tout autre produit pour faciliter la finition du béton
    - → Des équipements de finition en bois ou en acier
  - Blocs d'assise
    - → Surfaces de béton parfaitement planes et horizontales (tolérance de 0.35 % dans chaque direction
    - → Élévation à l'intérieur de 3mm de celle indiquée aux plans
  - Dalles
    - → Finition manuelle aux abords des chasse-roues et glissières : se guider sur les marques de référence faites sur les armatures en attente
    - → Profil à vérifier avec la règle de 3 m
      - Tolérance de 5 mm
      - Vérifier les zones où accumulation d'eau est constatée et les abords des chasse-roues, glissières et pistes cyclables
    - → Niveler les surfaces sous les trottoirs et pistes cyclables en surépaisseur sans finir de manière trop lisse
  - Dalles de transition, trottoirs, pistes cyclables, chasse-roues, glissières et épaulements de joints de tablier à plus d'une garniture
    - → Araser le béton avec une règle droite
    - → Faire la finition pour enlever saillies et crêtes, remplir les vides et les creux
    - → Trottoirs et pistes cyclables : texture antidérapante au balai
- Cure des éléments en béton coulés en place
  - Exigences générales
    - → Durée : 7 jours consécutifs (si surfaces décoffrées avant 7 jours : cure à faire sur ces surfaces)
      - Surfaces non coffrées de ponts, tabliers et dalles (sauf semelles, dalles de transition et joints de tablier à une garniture) : poursuivre au besoin la cure jusqu'à 70 % de f'_c après la période de 7 jours
      - Béton de type XVI-15 : 24 heures (température $>$ 10°C pendant 7 jours)
      - Béton à prise rapide (béton de type XVI-15 avec ciment « Rapid SET » ou « 10-60C ») : 4 heures (température $>$ 10°C pendant 3 jours)
    - → Pas de vibrations ou de chocs au béton jusqu'à 70 % de f'c (vérifié par cylindres témoins)
    - → Cure à faire au fur et à mesure de l'enlèvement des coffrages
    - → Retenues à appliquer si non-conformité
    - → pas de circulation sur le béton avant 70 % de f'c
  - Fissures de retrait : cure constitue meilleur moyen d'en diminuer l'importance et le nombre
  - Méthodes de cure
    - → Matériaux conformes à la norme 3501 du Ministère
    - → Toiles absorbantes imbibées d'eau : apport d'eau continu ou périodique, à recouvrir de feuilles imperméables (lester contre le vent), T° de l'eau $>$ 10 °C (à chauffer au besoin)
    - → Matériau de cure formant membrane avec colorant fugace (à utiliser seulement après décoffrage si période de cure non terminée)
  - Dalles, trottoirs et pistes cyclables
    - → 2 étapes pour dalles, trottoirs et pistes cyclables : humidification préalable à la cure et la cure
    - → Humidification préalable à la cure

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

        - Dalle : à partir de la plate-forme de travail
        - Immédiatement après la finition du béton (6 m maximum en arrière de l'équipement de finition)
        - Équipement de pulvérisation manuel (fines gouttelettes), éviter pression supérieure à eau de borne-fontaine
        - Éviter surplus d'eau (ne doit pas ruisseler ou couler)
        - À répéter aussi souvent que nécessaire (surface luisante en tout temps) jusqu'à la cure

    → Cure
        - Méthode « Toiles absorbantes imbibées d'eau »
        - Imbiber d'eau les toiles aussitôt déposées sur le béton
        - Feuilles imperméables à poser après durcissement du béton
        - Vérifier la présence permanente d'une mince couche d'eau sur le béton
        - Surfaces coffrées : à faire après décoffrage

    → Dalles d'envergure : inciter l'entrepreneur à installer une conduite d'amenée d'eau de chaque côté du pont

- Autres éléments

    → Méthode de cure « toiles absorbantes imbibées d'eau »

    → Humidification continue des surfaces si la cure n'est pas débutée dans un délai de deux heures suite à la finition

    → Matériaux de cure formant membrane avec colorant fugace : après décoffrage si cure non terminée

– Cure des éléments en béton préfabriqués

- Identique à celle demandée pour les éléments coulés en place sauf la période de cure

    → Période de cure : 140 °C-jours minimum ou jusqu'à f'c ou 7 jours à 10 °C + 70 % f'c
        - s'applique aussi si cure accélérée

- Poutres en béton précontraint (prétension)

    → Feuilles imperméables jusqu'à la coupe des torons

    → Cure accélérée : voir le CCDG

    → Température aire d'entreposage : $>$ 10 °C jusqu'à f'c (utiliser protection type 2 au besoin)

- Ne pas transporter au chantier les éléments préfabriqués en béton avant la fin de la période de cure (f'c dans la majorité des cas)
- Écart entre température ambiante et surface de l'élément $<$ 20 °C (surtout à la sortie de l'usine)
- Inspecter les éléments à l'arrivée au chantier pour déceler dommages dus au transport ou réparations importantes (consulter le représentant en usine dans ce dernier cas)

– Inspection, correction et nettoyage des surfaces

- Inspection (réparations)

    → Après la cure

    → Accès à fournir par l'entrepreneur

    → Surfaces non conformes (son creux) + 150 mm : à reconstruire

- Correction (ensemble des surfaces)

    → Immédiatement après la cure. Par temps froid, agir rapidement pour correction des surfaces alors que la T° du béton est suffisamment élevée

    → Partout même les surfaces sous le niveau du sol

    → Cônes de plastique des attaches de coffrages à enlever

    → Boucher les trous des cônes, les trous des dispositifs de levage et cavités de 6 à 12 mm avec

un mortier
- Mortier
  - Nettoyer les trous au préalable
  - Couleur gris béton
  - 20 MPa à 24 heures
  - Température ≥ 5 °C pour les 24 heures suivant la pose
  - Ne doit pas déborder des trous ou cavités
  - Mortiers spécifiés au devis pour dispositifs de levage

→ Cavités de plus de 12 mm : consulter le concepteur

→ Réparation: ouvertures temporaires à la partie supérieure des coffrages (enlever béton jusqu'à 5 mm le lendemain du bétonnage, meuler ces 5 mm après la cure)

→ Dalle : trous laissés par enlèvement des tiges filetées des selles ajustables en hauteur : mastic d'étanchéité

→ Culée, béquille de portique et mur de soutènement : mettre membrane autocollante sur fissures et les joints de construction du côté remblai (voir le chapitre 10 de ce manuel)

- Nettoyage (surfaces non remblayées)

→ Nettoyer les surfaces une fois les corrections terminées (jet d'eau 15 MPa ou 2 250 lb/po2, délai 3 jours)

→ Béton coffré avec doublure de coffrage : nettoyage au jet d'abrasif humide interdit

– Finition du béton durci
  - À faire si demandé dans les documents contractuels
  - Degré de finition selon devis spécial, si pas spécifié : prendre le degré « léger »
  - Si doublure de coffrage : utiliser un jet d'eau sous pression
  - Nettoyage final à faire

Imperméabilisation du béton et enduit de surface

– Imperméabilisation du béton
  - Polymère de silicone de type silane (> 40 % matières solides)
  - Nouveau béton : attendre 28 jours
  - Nettoyer les surfaces (entre 7 jours et 24 heures avant travaux).
  - Attention au recouvrement existant (fibres d'amiante)
  - Nettoyage final à faire
  - Protéger les surfaces environnantes (notamment enrobé à chaud)
  - T° minimale de l'air et du béton : 5 °C, pas de risque de gel 12 heures après la pose
  - Taux de pose : 0,33 l/m2 (plus d'une couche au besoin).
  - Vérifier les quantités posées
  - Protéger contre la pluie ou les éclaboussures pendant 6 heures
– Enduit de surface
  - Deux types, standard et haut pouvoir imperméabilisant
  - Ne pas substituer par rapport aux exigences du devis
  - Pas d'enduit sur dalle épaisse, colonnes, chevêtres sur colonnes ou en porte-à-faux, poutres
  - Nouveau béton : attendre 14 jours
  - Délai de 24 à 72 heures après l'imperméabilisation
  - Si pas d'imperméabilisation : nettoyer les surfaces au jet d'abrasif humide ou jet d'eau haute

pression (attention aux fibres d'amiante) et nettoyage final à faire (jet d'eau 15 MPa ou 2 250 lb/po2)

- L'armature apparente doit être protégée avant la pose (enduit protecteur pour armature)
- T° minimale de l'air et du béton : 5 °C, pas de risque de gel 12 heures après la pose
- Posé au pistolet (2 couches). Taux de pose selon devis. Vérifier les quantités posées
- Protéger contre la pluie ou les éclaboussures pendant 12 heures

Bétonnage par temps chaud

- T° maximale du béton plastique : 30 °C pour épaisseur $<$ 1 m; 25 °C pour épaisseur $<$ 2 m; 20 °C pour épaisseur $>$ 2 m
  - Béton de type XIII : 22 °C (20 °C pour épaisseur $>$ 2 m)
  - Tous les bétons : portiques, glissières, chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables et bandes médianes : 22 °C (20 °C pour épaisseur $>$ 2 m) du 15 mai au 15 octobre
  - Bétons pour dalles de moins de 300 mm : 25 ° du 15 mai au 15 octobre
- Zone 1, 1er mai au 15 septembre et zones 2 et 3, 15 mai au 1er septembre (dalles sur poutres, dalles épaisses, dalles de portiques, tabliers en béton précontraint en post-tension, trottoirs et pistes cyclables)
  - Bétonnage de soirée et de nuit
  - Si la finition du béton est difficile :

    → Diminuer la largeur de béton plastique en avant de l'équipement de finition et accélérer la finition derrière l'équipement
  - Dalles sur poutres, dalles épaisses et dalles de portique : utilisation d'un béton à base de ciment ternaire

Bétonnage par temps froid

- L'emploi de sel de déglaçage dans les coffrages est interdit
- Mesures pour éviter le gel du béton plastique
  - T° minimale du béton plastique : 10 °C
  - T° minimale de l'air extérieur lors du bétonnage

    → Bétonnage à l'air libre : 0 °C

    → Bétonnage avec protection de type 3 ou 4 : - 10 °C (pendant le bétonnage et les 48 heures suivantes)
  - T° des coffrages (protection de type 2, 3 ou 4) : entre 5 °C et 20 °C (période de 24 heures avant le bétonnage)
  - T° minimale des surfaces de contact : 5 °C (coffrages, béton existant et armatures)
  - Isolation de la ligne de pompage
- Mesures pour éviter le gel du béton durci
  - T° minimale du béton : 10 °C
  - Mesurer périodiquement la T°du béton

    → Thermocouples mis en place par le laboratoire du Ministère : voir le manuel

    → Thermomètre infrarouge pour mesurer les températures des surfaces

    → Thermomètre classique pour la température à l'intérieur de l'abri
  - Durée de la protection

    → Équivalent à la durée de la cure (généralement 7 jours)

    → Jusqu'à 70 % f'c

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

→ Béton précontraint en place : jusqu'à 10 jours après l'injection du coulis dans les gaines

→ Béton latex 15 % (béton de type XVI-15) : 7 jours

- Bétonnage à l'air libre : protection de type 1 à fournir si T° de l'air < 5 °C (pendant le bétonnage et les 48 heures suivantes)

– Protection de type 2, 3 ou 4

→ Coffrages doivent demeurer en place pendant toute la durée de la protection

→ T° des coffrages : entre 10 °C et 20 °C

→ T° maximale à l'intérieur de l'abri : 40 °C

→ Protection de type 3 ou 4 : unités de chauffage à l'extérieur de l'abri

- Ajuster le chauffage et l'isolation en fonction de la T° du béton
- Après la fin de la protection, refroidir graduellement le béton (si abri : d'abord couper le chauffage)

– Types de protection

- Type 1 (matériau isolant en 1 ou 2 couches)

→ RSI de 0,40 par couche (fiche technique)

→ Type d'isolant à approuver par le surveillant (matelas de grosses bulles ou oranges : non conformes)

→ Nombre de couches selon T°, ajustées sur demande du surveillant

→ Chevauchement de 75 mm

→ À lester (vent)

→ Mise en place plus tôt possible après finition

→ Entrepreneur a 3 heures max. pour modifier nombre de couches

- Type 2 (abri complet)

→ Dimensions suffisantes pour y travailler

→ Gaz de combustion vers l'extérieur de l'abri

→ Étaiement sur sol gelé : éviter le dégel du sol

- Type 3 (abri pour dalle sur poutres, y compris semelle inférieure)

→ Inclure les poutres dans l'abri

→ Abri doit se prolonger au-dessus de la dalle (palissade de 1,2 m par rapport à la dalle)

→ Dessus de la dalle protégé par une protection de type 1 (incluant la période de 24 heures avant le bétonnage)

→ Unités de chauffage

  - Plan du dispositif de chauffage à fournir 2 semaines avant le bétonnage
  - À l'extérieur de l'abri (loin des échafaudages)

→ Système de répartition de chaleur (sous porte-à-faux et entre les poutres)

- Type 4 (abri pour tabliers construits sur étaiement)

→ Abri doit se prolonger au-dessus de la dalle (1,2 m)

→ Dessus de la dalle protégé par une protection de type 1 (incluant la période de 24 heures avant le bétonnage)

→ Unités de chauffage

  - Plan du dispositif de chauffage à fournir 2 semaines avant le bétonnage
  - À l'extérieur de l'abri (loin des échafaudages et des étaiements)

– Types de protection vs éléments de pont

- Pieux caissons et pieux tubulaires, semelle, culée, pile, béquille de portique, dalle de transition,

mur de soutènement, ponceau, joint de tablier, chasse-roue, trottoir, piste cyclable, glissière et travaux de réparation

1er avril au 31 octobre			**1er novembre au 31 mars**
T° < 0 °C	**T° < 5 °C**	**T° > 5 °C**	**Toutes T°**
Bétonnage à l'air libre interdit	Type 1 (1 ou 2 couches)	Aucune protection	Type 2

- Dalle sur poutres

Zone 1	**1er avril au 31 octobre**			**1er novembre au 20 décembre**		**21 décembre au 31 mars**
	T° < 0 °C	**T° < 5 °C**	**T° > 5 °C**	**T° < -10 °C**	**T° > -10 °C**	**Toutes T°**
	Bétonnage à l'air libre interdit	Type 1 (1 ou 2 couches)	Aucune protection	Interdit	Type 3	Interdit
Zones 2 et 3	**1er avril au 31 octobre**			**1er au 30 novembre**		**1er décembre au 31 mars**
	T° < 0 °C	**T° < 5 °C**	**T° > 5 °C**	**T° < -10 °C**	**T° > -10 °C**	**Toutes T°**
	Bétonnage à l'air libre interdit	Type 1 (1 ou 2 couches)	Aucune protection	Interdit	Type 3	Interdit

- Dalle épaisse, tablier en béton précontraint en place et portique

Zone 1	**1er avril au 30 novembre**			**1er au 20 décembre**		**21 décembre au 31 mars**
	T° < 0 °C	**T° < 5 °C**	**T° > 5 °C**	**T° < -10 °C**	**T° > -10 °C**	**Toutes T°**
	Bétonnage à l'air libre interdit	Type 1 (1 ou 2 couches)	Aucune protection	Interdit	Type 4	Interdit
Zones 2 et 3	**1er avril au 14 novembre**			**15 au 30 novembre**		**1er décembre au 31 mars**
	T° < 0 °C	**T° < 5 °C**	**T° > 5 °C**	**T° < -10 °C**	**T° > -10 °C**	**Toutes T°**
	Bétonnage à l'air libre interdit	Type 1 (1 ou 2 couches)	Aucune protection	Interdit	Type 4	Interdit

– Divers
  - Les exigences relatives à la cure s'appliquent pendant la période de protection (y compris l'utilisation de toiles imbibées d'eau)
  - Tout le béton qui a gelé durant la période de protection doit être rejeté
  - Surfaces horizontales (dalle sur poutres, dalle épaisse, tablier en béton précontraint en place, portique, trottoir et piste cyclable)

    → Bétonnage après le 15 octobre : voir l'Info-structures no T2012-22
  - Réparation avec coffrages sans surépaisseur : interdit entre le 1er novembre et le 31 mars

Bétonnage sous l'eau

– Doit être demandé dans les documents contractuels (pas une solution de remplacement aux batardeaux)
– Utiliser un béton antilessivage (type XV) sauf pour pieu tubulaire muni d'une pointe à sa base (voir

le CCDG); base d'étanchement : béton de type V ou XV

- T° de l'eau > 5 °C
- Coffrages doivent se prolonger suffisamment au-dessus de l'eau (ou au moins 2 m au-dessus du niveau final du béton)
- Pompe à béton obligatoire
  - Ligne de pompage doit être au point bas au moment de débuter le bétonnage (utiliser des repères visuels sur la ligne de pompage)
  - Éviter de commencer le bétonnage avec la ligne de pompage pleine d'eau
  - Toujours conserver extrémité de la ligne de pompage enfoncée dans le béton
- Réparations avec surépaisseur : inspection par caméra vidéo (lorsque demandé au devis spécial) : caméra orientée selon les directives du surveillant à partir d'un moniteur
- Pieux caissons
  - La longueur mesurée de la conduite de la pompe (à l'intérieur du tube) doit être égale à la hauteur du tube plus celle de l'emboîture
  - Calculer correspondance entre volume de béton des camions et hauteur de béton dans le caisson, remonter la ligne de pompage au fur et à mesure
  - Maintenir la ligne à au moins 2 m de la surface du béton

    → Éviter remontée subite de la ligne de pompage à l'intérieur du tube
  - Vibrer partie supérieure (2 m) une fois toute la laitance évacuée

DALLES

Note : Afin d'alléger cet aide-mémoire, la plupart des informations concernant les dalles est transférée ici (voir les parties « coffrages », « armature », « béton », « bétonnage par temps chaud » et « bétonnage par temps froid » pour autres informations)

- Consulter un ingénieur spécialiste en structures pour :
  - Transition « bombement-dévers » sur le pont
  - Un point bas transversal localisé au droit d'une glissière médiane
- Pontage
  - Plan de pontage à fournir (voir l'article 6.6 du CCDG)

    → Entre les poutres

    → Vis-à-vis des voies de circulation ouvertes au trafic (y compris leurs accotements)
  - Mise en place tablier neuf : immédiatement après mise en place des poutres; remplacement de dalle : avant la démolition de la dalle existante
- Rails de roulement
  - À prolonger sur les approches du pont (3 m minimum et obstacles à enlever). Joint de tablier à poser après le bétonnage de la dalle
  - Espacement des supports des rails : 900 mm c/c (règle vibrante : 1 200 mm c/c)
  - Localisation des rails

    → Selon le devis spécial

    → Si sur poutres en acier : soudure sur tête de goujons seulement
  - Pont neuf réalisé en phases : rails prennent appui uniquement sur phase de dalle à bétonner
- Matériel
  - Type d'équipement de finition selon devis spécial (⊥ à ligne de centre)

- Finisseuse automotrice (Gomaco C-450)
  → Opérateur doit être un employé du propriétaire de l'équipement
  → Dispositif de bombement si largeur > 6 m (aussi pour un pont avec dévers)
  → Largeur variable de bétonnage : 3 m maximum
  → Ajuster le déplacement du module mobile pour qu'il s'approche le plus près possible des rails de roulement
  → Treillis de stabilisation ou hauteur de pont-roulant augmentée pour largeur de bétonnage > 18 m
- Règle vibrante (Allen Razorback 12HD ou SA12)
  → Largeur variable de bétonnage: 1 m maximum
  → Ajuster la longueur en tenant compte des drains
- Plates-formes de travail
  → 2 plates-formes : finition et cure du béton, obligatoire quelle que soit la largeur de bétonnage
  → Dégagement par rapport au béton de 100 à 150 mm

– Ajustement des coffrages
  - Goussets
    → Verticaux et sans excéder la largeur des poutres
    → Relevé d'arpentage de chaque poutre (à chaque dixième de travée ou à 5 m d'espacement maximum, 2 lignes longitudinales si poutres NEBT)
      - Après le redressement latéral des poutres préfabriquées en béton
      - Avant de mettre des charges importantes sur les poutres
      - Marquer les points d'arpentage
      - Remplacement de dalle
        - Adoucir les points d'arpentage
        - Centre des travées : avant l'enlèvement de la dalle existante
    → Calcul des goussets
      - Par l'entrepreneur
      - Tablier neuf : valeur de perte de cambrure indiquée sur les plans, sinon consulter le concepteur
      - Remplacement de dalle :
        - Valeur de perte cambrure mesurée avant et après démolition de la dalle existante (à augmenter si dalle neuve plus épaisse)
        - Profil longitudinal à fournir à l'entrepreneur
    → Goussets négatifs interdits (relever le profil)
    → Doit être fait sur toutes les travées en même temps, sinon prévoir zone tampon de 2 travées
  - Portique et béton précontraint en place
    → Portique : tenir compte de l'affaissement des étaiements sous le poids du béton frais et de la perte de cambrure du tablier à la suite de l'enlèvement de l'étaiement
    → Béton précontraint en place : tenir compte de l'affaissement de l'étaiement sous le poids du béton frais (ne pas tenir compte de la perte de cambrure du tablier à la suite de l'enlèvement de l'étaiement ni du gain de cambrure dû à l'application de la précontrainte)

– Mise en place des coffrages
  - Vérifier la hauteur des goussets (selon hauteurs calculées à chaque dixième de travée ou à 5 m d'espacement maximum, se servir des points d'arpentage)
  - Doit être fait sur toutes les travées en même temps, sinon les mettre aussi sur la zone tampon de 2 travées (armatures incluses)

- Pont ou tablier neuf : coffrages prennent appui uniquement sur partie de dalle à bétonner
- Coffrages d'extrémité et des joints de construction 25 mm plus bas que le dessus de la dalle
- Joints de construction à coffrer selon biais.
- Séquence de bétonnage modifiée : coffrer le 1er joint

– Ajustement des rails de roulement
  - Calcul du profil des rails
    → Par l'entrepreneur (7 jours avant le bétonnage), à vérifier par le surveillant
    → Profil des rails = profils longitudinaux des plans + pertes de cambrure (poutres sous chacun des rails ou étaiement)
    → Remplacement de dalle : profil longitudinal établi par le surveillant
    → Hauteur des rails n'a pas d'importance, c'est le profil qui est important
    → Les profils longitudinaux vis-à-vis de l'emplacement des rails sont sur les plans, sinon consulter le concepteur
    → Remplacement de dalle (pour le rail attenant à une phase de travaux déjà réalisée) : pas de profil à calculer
  - Mise en place des rails
    → Doit être fait sur toutes les travées en même temps, sinon les mettre aussi sur la zone tampon de 2 travées
    → Ajustement préliminaire selon le profil des coffrages
    → Ajustement final avec niveau d'arpentage à chaque dixième de travée ou à 5 m d'espacement maximum
    → Vérification des profils par le surveillant (niveau d'arpentage)
    → Ajustement des supports intermédiaires des rails avec une corde ou avec niveau d'arpentage

– Corde de référence
  - Une seule corde (pour implanter le profil transversal)
  - Le plus près possible de la finisseuse automotrice, à au moins 4 m des culées
  - Fixée sur des blocs (hauteur = épaisseur de la dalle)
  - Ajustement du profil de la corde selon le profil transversal des plans (niveau d'arpentage)
  - Remplacement de dalle
    → Profil de la dalle est égal au profil de la dalle moins la différence de perte de cambrure des poutres sous les blocs

– Ajustement de la règle vibrante
  - Avant et arrière de la règle par rapport à la corde de référence
  - Prendre en note la hauteur des 2 extrémités de la règle

– Ajustement de la finisseuse automotrice à béton
  - Refaire l'ajustement si la finisseuse est soulevée de ses rails
  - Préalable :
    → Vérifier si la finisseuse est dans la bonne direction
    → Tous les équipements pesants sont sur la finisseuse (génératrice, éclairage, contrepoids)
  - Étapes d'ajustement (détails : voir le manuel)
    → Rails du module mobile
    → Rouleaux lisses
    → Pont roulant
    → Vis sans fin et boîte vibrante

- Après la fin des étapes d'ajustement
  → Vérifier que le dessous des rouleaux lisses fait tout juste contact avec la corde de référence (tolérance : 1 ou 2 mm). Attention à ne pas écraser la corde
  → Vérifier les vis sans fin et la boîte vibrante (dessous parallèle avec la corde de référence)
  → Prendre en note la hauteur des 4 pattes de levage

– Passage à vide
- Généralités
  → En présence du surveillant
  → Doit être fait sur toutes les travées en même temps, sinon le faire aussi sur la zone tampon de 2 travées
  → 24 heures avant le bétonnage de la dalle (si pont neuf avec poutres NEBT : 24 heures avant le bétonnage des diaphragmes permanents)
  → La pose de l'armature est terminée
  → Après le passage à vide : prendre en note la hauteur de l'équipement de finition
- Mesure de l'enrobage de béton au-dessus des armatures
  → Gabarit de 55 mm (tolérance de 5 mm incluse)
  → Au-dessus des attaches des armatures
- Mesure de l'épaisseur de la dalle
  → Mesure directe : distance entre le dessus du gabarit et les coffrages (ruban à mesurer ou bâton avec clous). Tolérance : – 5 mm et + 10 mm
  → Mesure indirecte (ressort) : distance entre le dessus du gabarit et le dessus des armatures (tolérance de 15 mm incluse)
- Réalisation
  → Règle vibrante : plusieurs gabarits, un seul déplacement
  → Finisseuse : un seul gabarit, plusieurs déplacements (près des rails de roulement, près point haut transversal et de part et d'autre des poutres)
- Correction des non-conformités
  → Marquer à la peinture les zones non conformes
  → Attendre que le passage à vide soit fait sur une bonne partie de la dalle avant de faire une première correction
  → Avoir à l'esprit les conséquences d'une mesure correctrice sur les parties de dalle déjà vérifiées
  → Ne pas modifier le niveau des coffrages sous les rails (porte-à-faux)
  → Non-conformité de l'enrobage de béton au-dessus des armatures (voir le manuel)
    - Abaisser le niveau des armatures ou des coffrages ou hausser l'équipement de finition
  → Non-conformité sur l'épaisseur de la dalle (voir le manuel)
    - Épaisseur insuffisante : abaisser le niveau des coffrages ou hausser l'équipement de finition
    - Épaisseur trop importante : hausser le niveau des coffrages ou abaisser l'équipement de finition
  → Si aucun correctif ne fonctionne, l'entrepreneur doit reprendre le processus à zéro (relevé d'arpentage, calcul des goussets, etc.)
- Vérifications diverses
  → Hauteur des drains (30 mm plus haut que la dalle)
  → Hauteur des coffrages d'extrémité et des joints de construction (25 mm plus bas que la dalle)
  → Dégagement minimal de 25 mm sous les rails (si rails localisés à l'intérieur de la dalle)
  → Dalle réalisée en phases : enrobage de béton au-dessus des armatures le plus important

possible près de la phase non encore réalisée (précaution)

→ Après le passage à vide : couper les tiges filetées des selles ajustables en hauteur (si dépasse 25 mm le dessus des selles)

- Préparatifs avant bétonnage
  - Diaphragmes en béton

  → A bétonner avant la dalle (attendre 10 MPa), sauf les diaphragmes situés aux piles sans joint de tablier qui eux sont bétonnés en même temps que la dalle

  → Sous phase de raccordement : bétonner en même temps que la dalle
  - Séquence de bétonnage (pour pont à plus d'une travée)

  → Délai de 48 heures entre étapes de bétonnage (ne pas s'approcher avec l'équipement de finition à moins de 5 m d'un béton ayant moins de 48 heures)

  → Séquence modifiable
    - Nouvelle séquence et nouveau taux de pose 7 jours avant bétonnage. Nouveau taux de pose (m^3/h) ≥ à 75 % du volume du béton de la plus longue travée divisé par 2 heures

  → Séquence non modifiable
    - Lorsque remplacement de dalle réalisé en phases (poutres en acier)
    - Lorsque dalle au droit des piles doit être bétonnée en premier
  - Début du bétonnage

  → À partir du point bas du profil longitudinal. Si profil convexe, voir le manuel

  → Équipement de finition à l'extérieur de la dalle à bétonner
  - Équipements de finition

  → Vérifier la hauteur de l'équipement de finition

  → Rouleaux lisses selon angle de 5°

  → Angle d'attaque à ajuster (normalement : 5 mm)

  → Vérifier avec du béton la déflexion des coffrages en porte-à-faux (ajuster la hauteur de l'équipement de finition)
  - Personnel en nombre suffisant
- Bétonnage
  - Ne pas circuler sur armatures partiellement dans le béton non encore suffisamment durci
  - Béton, coffrages, drains et évents d'injection

  → Affaissement du béton le plus constant possible

  → Vérifier le taux de pose minimum : 20 m^3/h ou celui modifié

  → Relever les coffrages après bétonnage (25 mm)

  → Vérifier et ajuster la hauteur des drains après bétonnage

  → Évents d'injection : les relever après bétonnage
  - Équipements de finition

  → Finisseuse : rythme d'avancement : ± 150 mm

  → Pont avec dévers > 5 % et finisseuse : avancement au point bas du dévers

  → Règle vibrante : rythme d'avancement ± 300 mm

  → Rythme d'avancement du bétonnage à ajuster
    - 3 m maximum de béton plastique en avant de l'équipement de finition (placé par bande 1 m)
    - 6 m maximum de béton non fini à l'arrière

  → Ajustement en cours de bétonnage
    - Attendre après le biais

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

  - Surplus de béton à l'arrière des rouleaux lisses : angle d'attaque à augmenter
  - Manque de laitance à l'arrière des rouleaux lisses : angle d'attaque à diminuer
  - Personne responsable à nommer

- Finition manuelle du béton

→ Équipements de finition en bois interdits (alliage d'aluminium ou de magnésium)

→ À partir de la plate-forme de travail (ne pas marcher dans le béton)

→ Aplanissoir passé transversalement

→ Utiliser truelle manuelle au besoin avant l'aplanissoir

→ Règle vibrante : bosse arrêt-départ à enlever

→ Près des rails de roulement

  - Règle de 1 200 mm (pente transversale)
  - Vérifier le profil longitudinal du béton plastique et corriger au besoin
  - Pas de finition vis-à-vis des chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle ou glissières, niveler le béton au chanfrein
  - Déboucher les trous des drains

- Fin du bétonnage

→ Équipement de finition ne revient pas au début du bétonnage (attendre 48 heures)

→ Rails localisés dans la voie carrossable : enlever supports des rails après le durcissement du béton, trous à boucher lors du bétonnage des chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle ou glissières

- Bris d'équipement

→ Finition à faire 45 min. max. après la mise en place du béton

→ Joint de construction d'urgence à faire si test du vibrateur est négatif. Ne pas continuer manuellement. Voir le manuel pour emplacement du joint et autres détails

→ Finisseuse : on peut continuer avec 1 seul rouleau lisse : voir le manuel

CHAPITRE 5

BÉTON PROJETÉ

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **5-1**

NORMES **5-2**

5.1 MATÉRIAUX **5-2**

5.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ **5-2**

5.3 MISE EN ŒUVRE **5-5**

5.3.1 Préparation des surfaces à recouvrir 5-6
5.3.2 Treillis 5-6
5.3.3 Conditions météorologiques 5-7
5.3.4 Autorisation de mise en place du béton 5-7
5.3.5 Application du béton projeté 5-9
5.3.6 Finition du béton 5-14
5.3.7 Cure 5-15
5.3.8 Inspection 5-17

FIGURES

Figure 5.3-1 Techniques de projection 5-11
Figure 5.3-2 Formation d'un vide sous une barre d'armature 5-12

PHOTOGRAPHIES **5-19**

AIDE-MÉMOIRE **5-21**

INTRODUCTION

Le béton projeté est un béton qui a les mêmes caractéristiques fondamentales que n'importe quel béton. Il consiste en un mélange cimentaire projeté à haute vitesse sur une surface de manière à obtenir une compaction adéquate du matériau. Il existe deux types de béton projeté : le béton par procédé à sec et le béton par procédé humide.

Mentionnons que la sous-section 15.5 « Béton projeté » du CCDG est autonome en elle-même par rapport aux autres sous-sections de la section 15 « Ouvrages d'art », y compris la sous-section 15.4 « Ouvrages en béton ».

Le béton projeté est généralement utilisé pour réparer des éléments de pont faits d'un béton de bonne qualité et comportant des dommages de faible profondeur. Puisqu'aucun coffrage n'est nécessaire, le béton projeté est particulièrement utile notamment pour réparer des surfaces au plafond comme le dessous d'un chevêtre ou d'une dalle épaisse.

Le béton projeté par procédé humide est généralement utilisé lorsque les surfaces verticales à réparer sont très grandes parce que sa vitesse de mise en place est beaucoup plus rapide que celle du béton par procédé à sec.

Le béton projeté par procédé à sec est une méthode qui consiste à utiliser un mélange sec de liant, d'adjuvants, de fibres de polypropylène et de granulats. Ce mélange est amené au site de projection au moyen d'un conduit sous l'impulsion d'un jet d'air. L'eau et un surplus d'air sont ensuite ajoutés au mélange lorsque ce dernier sort de la lance de projection. Dans le cas du béton par procédé humide, l'eau est ajoutée au mélange avant que celui-ci ne soit amené au site de projection au moyen d'une pompe à béton. Le rôle des fibres est d'améliorer la consistance du mélange afin qu'il se supporte plus facilement jusqu'à ce qu'il fasse sa prise et de diminuer la fissuration due au retrait plastique en bas âge; les fibres n'ont aucune utilité une fois le béton durci.

De par sa nature même, la qualité du béton projeté dépend beaucoup de celle de la main-d'œuvre employée pour les travaux, notamment en ce qui concerne l'opérateur de lance de projection dont le travail est extrêmement exigeant physiquement, surtout pour le procédé humide. Les travaux réalisés au plafond sont également difficiles à effectuer compte tenu des nombreux rebonds dirigés directement sur l'opérateur. De plus, comme ces travaux se font rapidement, le surveillant se doit d'être vigilant, car il est difficile par la suite de vérifier la conformité du béton mis en place.

Les surfaces recouvertes de béton projeté sont généralement imperméabilisées au moyen d'un polymère de silicone de type silane, dont la teneur en matières solides est égale ou supérieure à 40 % en masse, car le béton projeté est plus poreux qu'un béton conventionnel. Ces travaux sont réalisés selon les exigences du chapitre 4 « Ouvrages en béton » du présent manuel.

Jet d'air ou jet d'abrasif

Puisque l'utilisation d'un jet d'air ou d'un jet d'abrasif humide est rencontrée à maintes reprises pour traiter les surfaces, un rappel est fait ici sur l'importance de ne pas souiller les surfaces pour préserver la qualité du lien entre deux matériaux; cette façon de faire permet d'alléger le texte de ce chapitre.

L'entrepreneur doit démontrer l'efficacité du filtre installé sur le matériel utilisé à capter l'huile afin que les surfaces traitées ne soient pas souillées. Cette démonstration se fait au moyen d'une guenille blanche sur laquelle le jet est dirigé; toute trace d'huile détectée sur la guenille est un signe que le filtre est inefficace.

NORMES

Afin d'alléger le texte, la description complète des normes citées dans le présent chapitre est faite ici. Ces normes sont :

- Norme 3201 du Ministère : Béton projeté par procédé à sec
- Norme 3301 du Ministère : Béton projeté par procédé humide
- Norme 3501 du Ministère : Matériaux de cure
- Norme 5101 du Ministère : Armature pour les ouvrages en béton

5.1 MATÉRIAUX

Les mélanges ensachés en usine doivent être secs au moment de leur utilisation afin d'éviter une mauvaise qualité de béton et le blocage des conduits. Les sacs doivent donc être protégés de l'humidité pendant le transport et l'entreposage au chantier et ceux contenant des mottes ou des matériaux hydratés doivent être rejetés. Dans le cas du béton par procédé humide, il faut s'assurer que tout le béton malaxé doit être projeté moins de 120 minutes après l'ajout initial d'eau de gâchage. Cette exigence est similaire à celle qui concerne le béton conventionnel et doit être appliquée de la même manière.

5.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux équipements de production, aux matériaux et à la qualification des opérateurs de lance de projection doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*.

Mentionnons que la Direction des normes et des documents d'ingénierie du Ministère publie *le Guide de contrôle de la qualité du béton* qui couvre très bien le béton projeté. Il est de la responsabilité du surveillant de faire appliquer les exigences de ce guide.

Les opérateurs de lance de projection doivent être titulaires d'un certificat de « Lancier pour le béton projeté » délivré par l'American Concrete Institute (ACI). Le surveillant peut vérifier sur le site Internet de l'ACI si un opérateur est certifié.

Celui-ci doit porter sur le procédé (sec ou humide) ainsi que sur les positions de projection et il doit être encore en vigueur. Mentionnons que le certificat doit couvrir les positions verticales et au plafond même si un lancier ayant un certificat couvrant que les surfaces verticales affirmait ne s'en tenir qu'à ces surfaces afin d'éviter que le surveillant n'ait à jouer à la police lors des travaux. Le lancier doit présenter son certificat au surveillant avant toute application de béton projeté afin de s'assurer de sa conformité; idéalement, l'entrepreneur devrait présenter l'ensemble des certificats des lanciers impliqués dans les futurs travaux au cours d'une réunion de chantier préalable.

Fiches descriptives des mélanges

L'entrepreneur doit remettre au surveillant les fiches descriptives des mélanges qu'il se propose d'utiliser au moins sept jours avant de commencer les travaux de projection. Le surveillant transmet ces documents pour analyse au laboratoire chargé du contrôle de réception du béton; le laboratoire a le mandat de s'assurer que les documents respectent les exigences du Ministère.

Bien que le devis spécial laisse souvent le choix à l'entrepreneur quant au type de béton projeté à utiliser (à sec ou humide), il peut arriver que le devis spécial exige l'un ou l'autre de ces bétons. Par exemple, le béton projeté par procédé à sec est normalement requis lors de la réparation de surfaces au plafond, notamment le dessous d'un chevêtre ou d'une dalle épaisse. Le surveillant doit alors veiller à ce que chaque fiche descriptive présentée par l'entrepreneur corresponde bien au béton projeté demandé dans le devis spécial.

Le surveillant doit aussi vérifier que l'accélérateur de prise qui pourrait paraître sur la fiche descriptive du béton projeté par procédé à sec est l'un des deux autorisés dans le devis spécial. Mentionnons que l'utilisation d'un autre accélérateur de prise serait néfaste à la résistance et à la durabilité du béton. L'utilisation d'un accélérateur de prise permet d'utiliser ce type de béton au plafond. De plus, l'utilisation d'un accélérateur de prise pour le béton projeté par procédé humide est interdite à cause d'une distribution non uniforme de l'accélérateur et d'une perte de durabilité. Il en est de même lorsqu'une bétonnière mobile est employée pour la fabrication de béton projeté par procédé à sec.

Dans le cas des mélanges ensachés qui servent lors de travaux réalisés au moyen de béton par procédé à sec, il faut aussi s'assurer que le produit proposé apparaît à la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

Trois fournisseurs sont identifiés par le Ministère pour les mélanges de béton projeté à sec : Ambex Technologies, Les produits Daubois et Matériaux King. Les sacs doivent contenir tous les constituants; il est donc interdit d'y ajouter quoi que ce soit lors des travaux. Cette exigence est importante, car il peut être difficile par exemple de doser correctement l'agent entraîneur d'air.

Le délai minimal de sept jours entre la réception des documents et le bétonnage laisse suffisamment de temps aux intervenants pour les analyser sereinement. Bien que le surveillant n'accepte pas officiellement les fiches, il est de bonne pratique d'informer le plus tôt possible l'entrepreneur de leur conformité ou non.

Dans le cas de l'utilisation d'un mélange ensaché, le surveillant doit vérifier que le mélange de béton utilisé au chantier correspond à la fiche descriptive qui lui a été remise. Les deux fournisseurs apposent des étiquettes sur tous leurs produits et les produits acceptés par le Ministère ont un étiquetage particulier. Le surveillant doit vérifier les étiquettes des sacs livrés au chantier afin de déceler une erreur de livraison toujours possible.

Particularités du procédé à sec – vérification de la consistance

Le procédé à sec se distingue du procédé humide par l'ajout d'eau au mélange de béton près de la sortie de la lance de projection. Le débit d'eau est ajusté par l'opérateur de lance de projection afin d'obtenir la consistance désirée; la quantité d'eau dans le mélange de béton est donc inconnue. L'opérateur fait alors face à un dilemme.

Une augmentation du débit d'eau lui procure un mélange de consistances plus faible qui se met plus facilement en place et facilite l'enrobage des armatures tout en diminuant la quantité de rebonds. Par contre, étant donné l'augmentation de la quantité d'eau ajoutée au mélange, le rapport eau/liant est augmenté et la qualité du béton en place est donc diminuée. D'un autre côté, une diminution trop importante du débit d'eau donne une apparence sablonneuse au mélange et il est alors difficile d'enrober correctement les armatures; de plus, la quantité de rebonds peut être considérable et la finition de la surface est alors plus ardue à effectuer. Le défi consiste donc à atteindre une consistance permettant une mise en place aisée et un bon enrobage des armatures, tout en obtenant une qualité satisfaisante du béton; la compétence de l'opérateur de lance de projection est sur ce point essentiel.

Le rôle du surveillant est aussi très important. Il doit en effet veiller à ce que le béton mis en place sur le pont ait la même consistance que celui des échantillons de béton prélevés sur le chantier. C'est le seul moyen de s'assurer de la qualité du béton mis en place.

Les échantillons, qui sont réalisés dans des conditions rigoureusement identiques à celles des travaux, sont produits par la projection du béton dans des moules en bois. Ils sont réalisés dans le contexte du contrôle de réception du béton.

Il faut éviter de préparer les échantillons avant le début des travaux; en effet, il serait préférable d'attendre la réalisation de plusieurs mesures de consistance sur l'ouvrage.

Lors de la préparation des échantillons, il faudrait que leur consistance soit la même que les consistances mesurées sur l'ouvrage. Si ce n'est pas le cas, l'échantillon fautif devrait être refait. Une fois l'échantillon réalisé, la consistance doit également demeurer sensiblement la même; la consistance mesurée dans l'échantillon sert à ce compte de valeur de référence pour la poursuite des travaux.

Pour la confection des échantillons, il suffit de disposer le moule près de la zone de travail et de faire signe à l'opérateur de lance de projection lorsque le surveillant considère que la consistance du béton correspond à celle utilisée dans l'ensemble des travaux de réparation. C'est à cet instant qu'il faut faire attention à ce que l'opérateur ne réduise pas l'apport en eau, ce qui aurait comme conséquence une surestimation de la résistance à la compression et de la qualité du béton projeté en place. Mentionnons qu'il ne faut pas non plus réduire l'amenée d'air dans le but louable de ne pas tout salir, car cela pourrait entraîner une perte de résistance à la compression due à un excès d'air entraîné causé par un manque de compaction.

Un appareil doit être utilisé pour mesurer la consistance du béton projeté. Il s'agit d'un pénétromètre à aiguille pour béton sur lequel on ajoute un embout spécifique pour le béton projeté. On trouve cet appareil chez les distributeurs d'équipement de laboratoire alors que l'embout est fourni par la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère par l'entremise de la direction générale territoriale. La mesure de la consistance du béton projeté se fait en enfonçant l'embout du pénétromètre à une profondeur de 25 mm selon une vitesse constante. La résistance à l'enfoncement du béton détermine la valeur de la consistance; en effet, plus le béton est raide, plus la consistance est élevée.

Le surveillant doit donc contrôler périodiquement la consistance du béton tout au long des travaux de projection au moyen d'un pénétromètre. Il s'agit de s'assurer que la consistance du béton mis en place a au moins celle mesurée lors de la confection des échantillons. Après avoir pris au moins cinq lectures par contrôle et calculé la moyenne de celles-ci, il faut vérifier l'écart entre la consistance du béton en place et celle des échantillons; un écart maximal de 0,5 MPa est toléré, mais des ajustements doivent être exigés de l'entrepreneur si l'écart devient plus important. Si le béton manque de consistance, il faut immédiatement aviser l'opérateur de lance de projection; si la situation se répète trop souvent, le surveillant doit arrêter les travaux. Ceux-ci peuvent reprendre quand l'entrepreneur a apporté les correctifs requis à sa méthode de travail. Comme pour tout contrôle, ce dernier doit être resserré en cas de non-conformité.

5.3 MISE EN ŒUVRE

Lorsque l'entrepreneur désire fixer des éléments temporaires à la surface du béton, comme ce peut être le cas des équipements nécessaires à la cure, il doit respecter les conditions énumérées à la section 15.4.3 du CCDG et obtenir la permission du surveillant. Ces exigences s'appliquent par le biais de la section 15.15 du CCDG « Dispositions diverses » et concernent tous les travaux sur les ouvrages d'art, y compris le béton projeté.

5.3.1 Préparation des surfaces à recouvrir

La préparation de la surface à recouvrir consiste à obtenir des surfaces de contact propres et saines afin d'assurer un bon lien entre deux bétons, ou entre les armatures et le béton. Ces travaux s'effectuent généralement à la suite de la démolition d'une surface de béton.

Le surveillant doit se référer à la partie 4.3.5.1 « Préparation des surfaces à conserver » du chapitre 4 « Ouvrages en béton » du présent manuel pour plus d'information. En effet, la préparation des surfaces à traiter concernant le béton projeté est identique à la préparation des surfaces à conserver d'un ouvrage en béton.

Dans le cas d'un joint de construction et avant de procéder à la reprise du bétonnage, il faut préparer les surfaces venant en contact avec le nouveau béton, notamment le béton durci et les armatures comme cela est demandé au CCDG. Cette préparation est alors faite au moyen d'un jet d'eau sous pression (15 MPa ou 2 250 lb/po^2) afin de ne pas endommager la galvanisation du treillis métallique.

5.3.2 Treillis

Le treillis métallique est utilisé principalement pour limiter la fissuration du béton de réparation causée par le retrait de séchage et les variations volumétriques dues à la température; il n'a aucune fonction structurale. Le treillis facilite la mise en place du béton projeté en agissant comme support jusqu'à ce que le béton fasse sa prise.

Le surveillant doit s'assurer que la position du treillis respecte le dégagement de 25 mm exigé par rapport à la surface à recouvrir afin de permettre un bon enrobage de béton autour de celui-ci. De même, le treillis doit être placé de façon à obtenir l'enrobage minimal de béton au-dessus de lui; cet enrobage est spécifié dans le CCDG, soit 30 mm. Par contre, il se peut que les plans exigent un enrobage plus important. Le chevauchement du treillis exigé dans le CCDG devrait se faire de façon à diminuer le plus possible les obstacles pour la mise en place du béton; une bonne pratique consiste à s'assurer que les fils de deux sections de treillis sont l'un au-dessus de l'autre.

Bien qu'il n'y ait pas de coffrages, le surveillant doit tout de même s'assurer, au moyen de cordes par exemple, que la valeur de l'enrobage de béton au-dessus du treillis soit respectée. Il peut aussi se servir des guides mis en place par l'entrepreneur avant la projection du béton; ces guides sont utilisés pour la finition des surfaces. En effet, ces guides, souvent constitués de fils tendus, sont installés en maintenant un décalage constant par rapport à la surface finale. Le surveillant peut alors s'en servir pour vérifier l'épaisseur de béton au-dessus du treillis et la conformité du profil final envisagé. Les guides, horizontaux et verticaux, doivent être suffisamment rapprochés pour être utiles lors des opérations de mise en place du béton et de finition.

Comme l'énergie de projection lors de la mise en place du béton est élevée, il est nécessaire que les armatures existantes qui ont été dégagées lors des travaux de démolition et le treillis soient solidement fixés afin d'éviter qu'ils se déplacent ou vibrent d'une façon excessive durant les travaux. En effet, une armature ou un treillis

insuffisamment fixés vont se déformer lors de la projection, réduisant ainsi le dégagement demandé en dessous d'eux. De même, une armature ou un treillis insuffisamment fixés peuvent vibrer au point de réduire l'adhérence au substrat du béton projeté déjà mis en place à proximité, surtout pour les surfaces au plafond.

Une méthode efficace pour fixer adéquatement les armatures existantes qui ont été dégagées lors des travaux de démolition et le treillis consiste à les attacher solidement à chaque ancrage mécanique. Une armature ou un treillis solidement fixés ne doivent pas bouger lorsqu'on les secoue énergiquement avec la main; il faut ajouter des ancrages au besoin pour augmenter la rigidité de ces matériaux.

5.3.3 Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques lors des travaux doivent permettre une application et une finition du béton projeté de qualité.

S'il n'est pas possible de protéger la zone des travaux contre la pluie ou l'eau ruisselant sur les surfaces à recouvrir, les travaux de béton projeté doivent être arrêtés immédiatement.

Les travaux de béton projeté ne sont permis que lorsque la température ambiante et celle de la surface à recouvrir est supérieure à 5 ˚C; de plus, la température doit être à la hausse pour éviter que les travaux soient arrêtés à tout moment. La température du béton projeté lors de l'application doit être supérieure à 10 ˚C afin de permettre l'hydratation du liant ainsi que l'atteinte d'une résistance et d'une durabilité satisfaisantes. Il ne faut pas oublier que les faibles épaisseurs de béton projeté sont sensibles aux basses températures.

Les exigences relatives au bétonnage par temps froid du chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel ne s'appliquent pas aux travaux de béton projeté puisque de toute façon les travaux de béton projeté, de par leur nature et les équipements utilisés, exigent des conditions de température minimales pour leur réalisation, d'où l'exigence du CCDG interdisant toute projection de béton entre le 1er novembre et le 31 mars. Cette période d'interdiction coïncide d'ailleurs avec celle des réparations sans surépaisseur, qui sont des travaux de nature similaire.

5.3.4 Autorisation de mise en place du béton

Il est exigé au CCDG que l'entrepreneur donne au surveillant un avis écrit de 24 heures avant toute mise en place de béton. Cet avis doit préciser la date et l'heure du début du bétonnage ainsi que la séquence des travaux.

Cet avis est demandé dans le but de permettre au surveillant d'avertir, dans des délais raisonnables, les intervenants concernés par cette mise en place, notamment le laboratoire et le concepteur, et lui permettre aussi de procéder aux dernières vérifications avant d'autoriser le bétonnage. Dans le cas où l'entrepreneur avise le surveillant dans un délai plus court, celui-ci doit alors évaluer si les intervenants

peuvent être sur place pour le bétonnage et si les vérifications peuvent être faites à temps; si c'est le cas, le surveillant ne devrait pas interdire le bétonnage sur la base d'un avis remis trop tard.

Avant toute mise en place de béton, le surveillant doit veiller à ce que :

- les fiches descriptives des mélanges des bétons soient conformes;
- la solidification de l'armature existante et la mise en place du treillis métallique soient terminées et conformes;
- le dégagement de 25 mm sous le treillis soit conforme;
- la quantité de fils tendus en place soit suffisante;
- la distance (enrobage) entre le dessus du treillis et la surface finale projetée de la réparation soit conforme;
- la préparation des surfaces à recouvrir soit conforme;
- le matériel et les matériaux nécessaires à la mise en place et à la cure soient sur place notamment les toiles de fibres synthétiques qui doivent être fixées au-dessus des surfaces verticales à recouvrir;
- le matériel nécessaire pour la finition du béton soit sur place;
- le plan du dispositif d'éclairage pour les travaux de soirée ou de nuit soit remis au surveillant. Ce plan devrait être également exigé pour des travaux effectués de jour, mais qui risquent de se prolonger en soirée, soit pour les opérations de mise en place elles-mêmes, soit pour les opérations de finition et de cure du béton. Mentionnons que le meilleur système d'éclairage est celui constitué de tours d'éclairage qui éclairent de grandes superficies;
- les opérateurs de lance de projection présents soient certifiés.

Dans le cas du béton projeté par procédé humide préparé dans une centrale de dosage, l'entrepreneur doit s'assurer préalablement aux travaux que le rythme des livraisons de béton au chantier est ajusté au rythme de mise en place que les ouvriers peuvent soutenir. Un rythme de livraison trop élevé augmente le temps d'attente des camions au chantier, ce qui conduit à une diminution de la qualité du béton. Par contre, un rythme de livraison trop faible augmente les arrêts dans les opérations de mise en place du béton, ce qui peut conduire à la formation de joints de construction non désirés.

Pour ce qui est de l'aspect technique des travaux de béton projeté, mentionnons qu'il est préférable de commencer la mise en place du béton projeté par le bas de la réparation et, le cas échéant, à partir des coins des éléments de pont. Cette façon de faire permet au lancier d'appuyer le nouveau béton contre celui qui a déjà été projeté. Il permet aussi de ne pas souiller les surfaces situées dans la zone inférieure.

À cette étape des travaux, le surveillant devrait avoir validé avec l'entrepreneur les quantités payables pour chaque poste du bordereau. En effet, les réparations avec

béton projeté sont souvent payées en fonction de la profondeur de la réparation; après réalisation des travaux, il sera trop tard pour valider les quantités de chaque type de réparation.

5.3.5 Application du béton projeté

L'application du béton projeté est une étape cruciale quant à la qualité de la réparation.

De par la méthode de mise en place, la qualité de la réparation est intimement liée à la compétence de l'opérateur de lance de projection, surtout dans le cas du béton projeté par procédé à sec. C'est pourquoi une attention particulière s'impose au cours de cette phase importante des travaux.

L'application du béton projeté doit s'effectuer d'une façon constante et sans interruption. Elle doit, par contre, être suspendue lorsque le béton à la sortie de la lance de projection n'est pas homogène ou lorsque le mauvais fonctionnement d'une pièce d'équipement altère le mélange ou son application. Si cette suspension des travaux se prolonge, un joint de construction doit être fait en respectant le mieux possible les exigences du CCDG, notamment celles concernant la reprise des travaux.

Lors des travaux de béton projeté, il faut s'assurer d'obtenir en tout point de la surface à réparer un surplus de béton par rapport au profil final prévu; ce surplus est nécessaire à l'obtention d'un profil final uniforme. Ce surplus de béton n'est pas payé à l'entrepreneur, puisqu'il fait partie du processus menant au profil désiré.

Les éclaboussures de béton sur le treillis et les barres d'armature existantes adjacents aux travaux en cours devraient être enlevées avant la poursuite du bétonnage lorsqu'elles ont eu le temps de sécher. Cette situation se produit aux arrêts des travaux, par exemple lors des repas. Si le béton séché n'est pas enlevé, la qualité du lien entre l'armature et le béton sera moins bonne.

Les opérations liées aux travaux de béton projeté peuvent présenter un risque pour la sécurité des personnes chargées des travaux et pour celles circulant à proximité, notamment le surveillant. La lance de projection est un équipement qui ne doit pas être considéré comme inoffensif, surtout si l'opérateur l'échappe lors des travaux; il ne faut donc pas se tenir trop près de l'opérateur. De plus, les conduits sous pression utilisés pour l'air comprimé ou pour le mélange de béton lui-même sont une autre source de danger en cas de bris, surtout lorsque les conduits se bouchent. Le surveillant se doit de porter des lunettes protectrices afin de se protéger les yeux des rebonds ou des fuites de béton en cas de bris des conduits.

<u>Équipements – bétonnière mobile</u>

Le surveillant doit se reporter au chapitre 4 « Ouvrages en béton » du présent manuel pour les certifications, le fonctionnement et l'utilisation d'une bétonnière mobile.

Techniques de projection

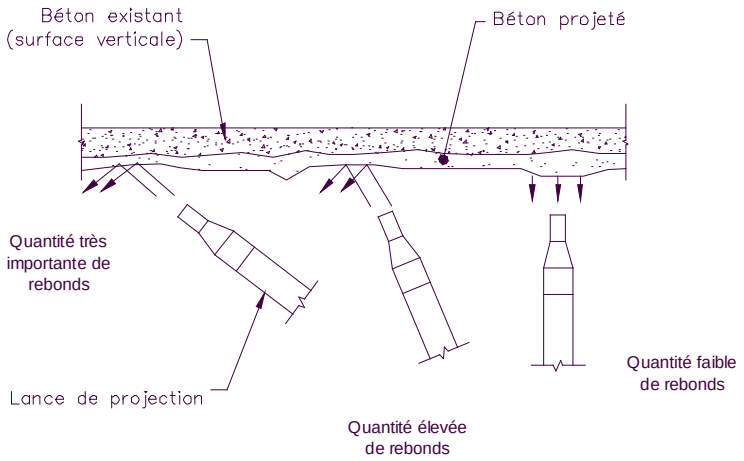
De façon générale, l'opérateur de lance de projection doit faire la mise en place du béton projeté comme suit :

- conserver la lance de projection le plus possible perpendiculaire à la surface;
- effectuer un mouvement circulaire avec la lance de projection;
- conserver une distance d'environ 1 m entre la lance de projection et la surface à recouvrir.

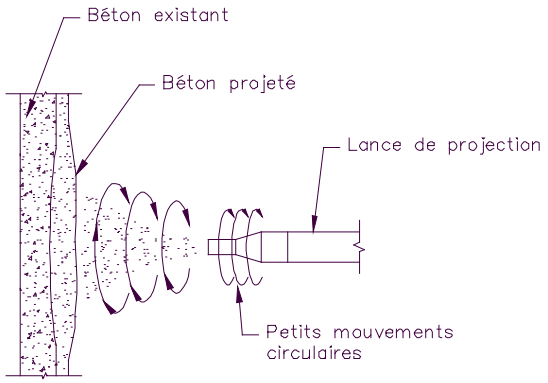
Cette technique de travail permet de limiter les rebonds et assure une meilleure homogénéité du mélange posé.

Il convient aussi de mentionner l'importance de l'angle de projection pour diminuer les rebonds et pour augmenter la force de projection afin d'obtenir une meilleure compaction du mélange. La figure 5.3-1 illustre la façon d'effectuer le mouvement circulaire et montre différentes positions de la lance de projection par rapport à la surface à recouvrir.

À la rencontre de deux surfaces, la technique de projection doit être modifiée pour effectuer adéquatement la projection dans les coins, saillants ou rentrants. Pour ces zones, la lance de projection doit être orientée selon un angle de 45°; cette précaution est nécessaire pour bien compacter le béton.



REBONDS SELON L'ANGLE DE LA LANCE - VUE EN PLAN



MANIPULATION DE LA LANCE

Figure 5.3-1 Techniques de projection

Lorsque des armatures existantes ont été dégagées au cours des travaux de démolition, la distance ainsi que l'angle de projection par rapport à la surface peuvent varier quelque peu afin d'obtenir un bon enrobage des armatures tout en diminuant le plus possible la ségrégation du béton (rebonds). L'objectif est d'éviter l'accumulation prématurée de béton sur les armatures, qui pourrait mener à la formation de vides sous les barres; la figure 5.3-2 illustre ce phénomène. Plus le diamètre de la barre est important, plus il faut redoubler de précaution pour éviter la formation de vides; la même

prudence est de mise lorsque des barres sont rapprochées. Un bon opérateur de lance de projection augmentera le débit de l'air comprimé ou se rapprochera de la surface à recouvrir pour permettre un meilleur écoulement du béton vers l'arrière des armatures.

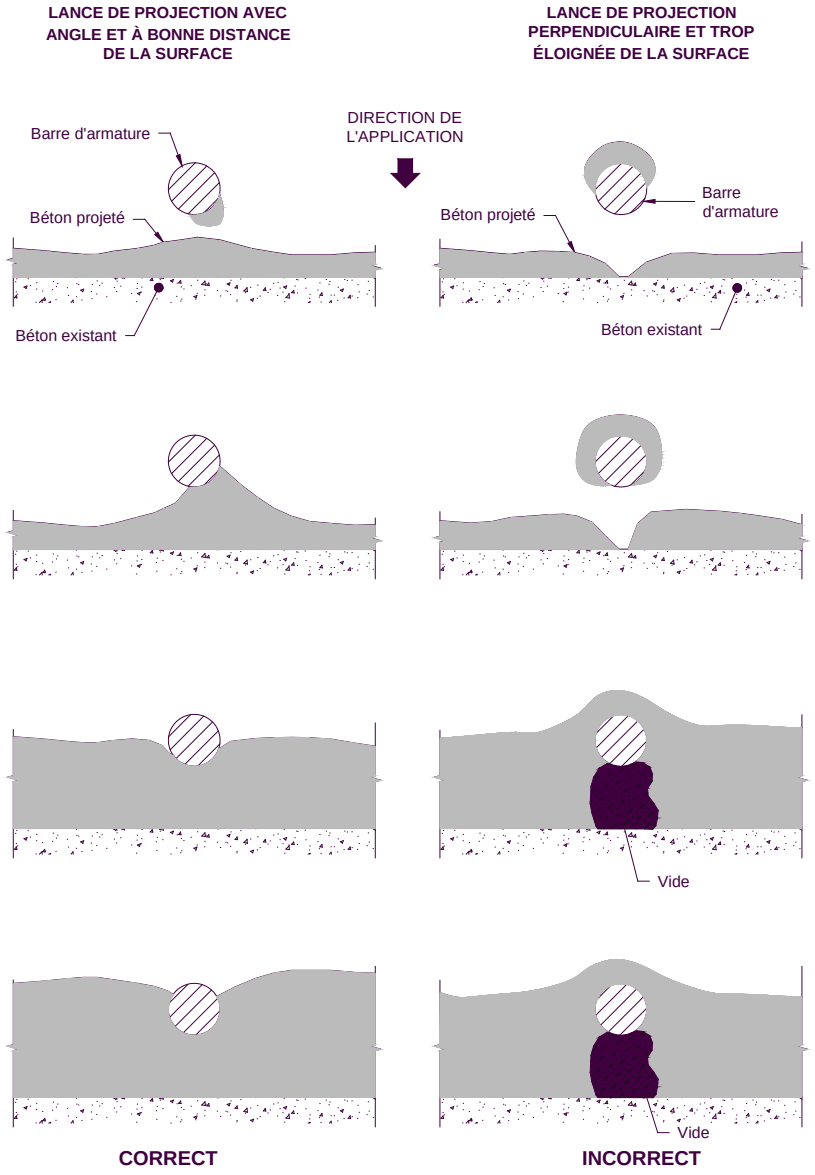


Figure 5.3-2 Formation d'un vide sous une barre d'armature

L'épaisseur totale est obtenue en faisant plusieurs passages rapides au moyen d'un mouvement de va-et-vient de la lance de projection; ce mouvement ne devrait avoir une amplitude que de quelques mètres seulement. Cette pratique permet d'obtenir le profil final en une seule couche sans joints froids.

Lorsqu'une épaisseur de béton supérieure à 150 mm doit être mise en place sur une surface verticale, une technique efficace consiste à projeter le béton en respectant un angle d'environ 45°, de façon à maximiser l'épaisseur et ainsi éviter d'effectuer les travaux en plus d'une couche.

Dans le cas du procédé à sec, lorsque le débit du béton à la sortie de la lance devient momentanément irrégulier durant les travaux, la lance doit être détournée de la surface de projection jusqu'à ce que le débit revienne à la normale. Le surveillant doit veiller à ce que l'opérateur de lance de projection ajuste la consistance du mélange au début et en cours de projection en dirigeant sa lance à l'extérieur de la surface de projection.

Rebonds

Les rebonds obtenus lors de la projection du béton sont constitués des matériaux qui n'ont pas adhéré à la surface. Ils sont surtout composés de pierres, mais contiennent aussi une certaine proportion des autres constituants du mélange. La quantité de rebonds varie selon la technique de projection et la composition du mélange. La figure 5.3-1 illustre l'importance de l'angle de projection pour diminuer les rebonds.

Les valeurs typiques de la quantité de rebonds pour le procédé à sec se situent entre 15 à 25 % et 25 à 50 %, selon que les surfaces sont verticales ou au plafond; pour le procédé humide, les rebonds pour des surfaces verticales se situent plutôt entre 5 et 10 %. Étant donné que la composition et la quantité de rebonds ne sont pas connues, la composition exacte du béton en place ne l'est pas non plus. Mais de façon générale, plus la quantité de rebonds est élevée, moins le mélange en place contient de pierres, et il est donc plus sujet à la fissuration compte tenu de son potentiel de retrait de séchage plus élevé. Les rebonds ne doivent pas être réutilisés comme matériaux de projection, ni pour combler des vides lors des travaux de finition des surfaces.

Application de béton projeté en plus d'une couche

Il est important de préciser que la réparation d'une surface au moyen du béton projeté doit se faire en une seule couche; si plusieurs passes sont nécessaires, elles doivent être réalisées à l'intérieur d'un délai maximal de 120 minutes alors que le béton déjà projeté demeure humide.

Ce délai est prescrit dans le CCDG afin d'éviter la formation d'un joint de construction.

Joints de construction

Un joint de construction est réalisé à la suite d'un arrêt prolongé des travaux, soit à la fin d'une journée de travail ou pour toute autre raison associée aux conditions climatiques ou au mauvais fonctionnement d'une pièce d'équipement.

L'amincissement de la couche de béton en cours d'application est nécessaire pour bien compacter le béton du joint. Les exigences de la partie 5.3.1 « Préparation des surfaces

à recouvrir » du présent chapitre, relatives au nettoyage et à l'humidification des surfaces, qui visent l'obtention d'une bonne adhérence entre deux couches de béton consécutives, doivent être respectées.

5.3.6 Finition du béton

Dès que le béton en place a acquis suffisamment de rigidité, le surplus de béton est arasé à l'aide d'un outil tranchant en se servant des guides installés avant les travaux comme repères. Si on constate un manque de béton à un point quelconque de la surface à réparer, il faut procéder à l'ajout d'une nouvelle couche de béton projeté. Pour ce faire, les équipements servant à la projection devraient demeurer sur place tant et aussi longtemps que les opérations de finition ne sont pas terminées.

La finition elle-même se divise en deux étapes : le régalage et l'aplanissement. Le régalage consiste à finir sommairement les surfaces de béton tandis que l'aplanissement consiste à achever la finition. Étant donné la quantité plus faible d'eau contenue dans le béton projeté par rapport à celle d'un béton conventionnel, la finition est généralement plus difficile à faire.

Le béton des surfaces verticales est régalé au moyen d'une truelle rotative munie d'un disque en caoutchouc à haute densité. Le principal avantage de la truelle rotative est lié à l'obtention d'une meilleure finition, puisqu'elle ferme beaucoup plus efficacement la surface du béton en scellant un plus grand nombre de pores.

La truelle rotative permet également de maintenir la même qualité de finition tout au long de la journée, étant donné que son utilisation est moins exigeante physiquement et qu'elle permet d'éviter un relâchement de la finition en fin de journée dû à la fatigue des ouvriers. De plus, la cadence de finition plus élevée obtenue avec la truelle rotative permet de diminuer la pression sur l'équipe de finition, puisqu'elle est plus en mesure de suivre le rythme de l'équipe de projection.

Dans le cas des surfaces au plafond, le béton est régalé au moyen d'une truelle en bois.

La surface est finalement aplanie à l'aide d'une truelle en bois. Les fils tendus servant de guide pour les travaux sont enlevés pendant les opérations d'aplanissement du béton; les trous laissés par les supports des guides doivent être bouchés durant ces opérations.

Les opérations de finition doivent être réalisées sans ajout d'eau destiné à faciliter ce travail. Cette exigence du CCDG s'impose afin d'éviter d'altérer la qualité et la durabilité du béton projeté.

Puisque la durabilité et particulièrement l'aspect esthétique sont influencés fortement par la qualité de la finition, le surveillant doit être vigilant pendant ces opérations. Les exigences du CCDG concernant la vérification des surfaces verticales au moyen de la

règle de 3 m doivent donc être respectées, de façon à obtenir des profils rectilignes et se situant dans le même plan que les surfaces environnantes tout en ayant un aspect visuel agréable.

Le surveillant devrait effectuer une première vérification sommaire du profil de la surface après l'arasage de manière à déterminer si des zones requièrent une correction importante. Si c'est le cas, l'entrepreneur peut alors projeter à nouveau ou corriger le problème au régalage. Une vérification finale est toutefois nécessaire à la suite de la finition manuelle.

Le CCDG fait référence à une mesure à la règle de 3 m et d'un écart de planéité de 15 mm, mesuré selon la méthode d'essai LC 26-600. Cette méthode, utilisée pour les routes en enrobé, guide le surveillant quant à la façon de placer la règle pour mesurer les écarts de planéité.

La finition du béton projeté par procédé humide est généralement plus facile à faire en raison de sa plus grande maniabilité. La finition du béton projeté par procédé à sec doit se faire plus rapidement, particulièrement lorsqu'un accélérateur de prise est utilisé. Dans les deux cas, et en tenant compte des particularités du chantier, il faut s'assurer que le rythme de mise en place du béton est ajusté à la capacité de l'équipe de finition afin d'éviter un décalage trop important entre les fronts de projection et de finition, surtout par temps chaud et venteux. Il ne faut pas hésiter à arrêter les travaux lorsque la vitesse du vent ne permet plus à l'équipe chargée de la finition de faire son travail adéquatement.

5.3.7 Cure

Tout comme pour le béton conventionnel, la meilleure cure pour un béton projeté consiste à maintenir une pellicule d'eau en tout temps à la surface du béton au cours de sa période intensive d'hydratation.

La cure du béton permet non seulement d'améliorer la résistance et la durabilité du béton, mais elle réduit aussi le retrait endogène du béton et, par conséquent, la fissuration en bas âge du béton. Dans ce dernier cas, la cure nous assure que le béton ne séchera pas en surface tout en permettant de réduire le retrait endogène, puisque de l'eau est fournie au béton.

Outre le retrait plastique qui est associé aux conditions climatiques comme le vent, on distingue deux types de retraits dans tout béton : le retrait endogène et le retrait de séchage. Le retrait endogène est dû à la diminution de la teneur en eau dans le béton à la suite de l'hydratation du liant. L'intensité du retrait endogène est fonction de l'amplitude de la diminution de la teneur en eau à l'intérieur même du béton. C'est pourquoi un béton haute performance est plus sujet au retrait endogène qu'un béton ordinaire étant donné son faible rapport eau/liant. Il est important de souligner que le retrait endogène du béton projeté est similaire à celui d'un béton haute performance compte tenu de son faible rapport eau/liant. Comme le retrait endogène est associé à l'hydratation du liant, il affecte surtout le béton lors des premiers jours suivant sa mise

en place. La seule façon de réduire le retrait endogène est de fournir de l'eau au béton dès que la finition du béton est terminée; bien que le fait d'empêcher l'eau de s'évaporer de la surface de béton soit louable, elle est généralement insuffisante pour contrer ce type de retrait.

Le retrait de séchage est associé à la contraction du béton à la suite de l'évaporation de l'eau à partir des surfaces exposées à l'air du béton. Ce phénomène est beaucoup plus lent que le retrait endogène étant donné que le volume de béton soumis au séchage est plus faible; en effet, il est proportionnel à la surface exposée à l'air. Le retrait de séchage peut donc s'étendre sur une période de plusieurs mois à quelques années, selon l'épaisseur de l'élément en béton et les conditions de température et d'humidité du milieu.

Comme pour n'importe quel béton, la cure du béton projeté doit commencer immédiatement après la finition des surfaces et elle doit durer au moins sept jours consécutifs. Par temps chaud, un démarrage rapide de la cure au moyen de toiles saturées d'eau permet de refroidir le béton et de limiter la fissuration.

Humidification préalable à la cure

L'humidification des surfaces de béton doit être réalisée, car ces dernières sont très sujettes à la fissuration due aux retraits plastique et endogène. Elle doit débuter dès que les ouvriers ont terminé la finition du béton, de manière à avoir la plus petite superficie possible de béton fini sans humidification. Il est exigé au CCDG que la période de temps maximale après la finition du béton est de 60 minutes. Le surveillant se doit d'être vigilant et d'interpeller l'entrepreneur au besoin pour qu'il ralentisse le rythme des travaux de mise en place du béton si les ouvriers chargés de sa finition ne réussissent pas à respecter cette exigence.

Une fois la finition du béton terminée, il faut pulvériser de l'eau sous forme de fines gouttelettes sur le béton frais de façon à le garder continuellement humide en surface. L'équipement de pulvérisation employé ne doit pas endommager le béton frais. L'utilisation d'un équipement manuel de faible pression est recommandée; le meilleur est celui qui sert à l'arrosage des végétaux dans les serres. De même, l'utilisation d'un équipement manuel, ayant une pression supérieure à celle de l'eau provenant d'un aqueduc municipal, est déconseillée, car il est difficile de ne pas déborder sur les zones de dalle en cours de finition.

Il faut faire très attention à la quantité d'eau vaporisée; en effet, un apport trop important d'eau va permettre à celle-ci de s'égoutter, de couler ou de ruisseler sur le béton frais endommageant ainsi la matrice du béton. Les particules fines de la pâte ont alors tendance à s'éroder sous le passage de l'eau. Par contre, un faible apport d'eau est insuffisant pour éviter les problèmes importants de fissuration dus au retrait du béton.

L'humidification doit être répétée aussi souvent que nécessaire jusqu'au début de la cure proprement dite. La fréquence peut être très élevée par temps chaud et venteux,

de l'ordre de deux à trois fois par heure, mais parfois plus, alors qu'elle est beaucoup plus faible une fois le soleil couché. Un béton frais suffisamment humecté a un aspect luisant, très visible sous les projecteurs utilisés lors de travaux de nuit.

Méthodes de cure

La cure humide doit être utilisée pour le béton projeté. Elle consiste en l'utilisation d'une toile synthétique saturée d'eau recouverte d'une pellicule de polyéthylène imperméable. La toile synthétique est décrite à la norme 3501 du Ministère. Précisons que la présence de la feuille imperméable fait partie intégrante de cette méthode de cure, puisqu'elle empêche les toiles de sécher trop rapidement.

Le système de cure doit être mis en place avant le début des travaux de projection de manière à éviter tout retard à commencer la cure. Pour ce faire, la toile et la pellicule de plastique doivent être en place au-dessus de chaque zone de béton réparée; après les travaux de finition, l'entrepreneur n'a qu'à faire descendre le système sur le béton projeté. La toile doit ensuite être bien assujettie à la surface à protéger et immédiatement saturée d'eau. L'apport d'eau, nécessaire pour maintenir la toile synthétique saturée d'eau, est généralement assuré par des boyaux perforés localisés au-dessus de la réparation.

L'utilisation d'un matériau de cure formant membrane translucide contenant un colorant fugace n'est autorisée dans le CCDG que pour les surfaces au plafond. Cette méthode est moins efficace que la membrane saturée étant donné qu'il n'y a pas d'apport d'eau possible au béton. L'utilisation d'un matériau contenant un colorant fugace a pour but de faciliter le travail du surveillant quant à la pose ou non du matériau. Il faut s'assurer que le produit proposé par l'entrepreneur apparaît à la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

Le surveillant doit vérifier que le taux d'application du produit de cure est conforme aux recommandations du fabricant. La vaporisation doit être uniforme et ne laisser aucune zone de béton non protégée.

L'application d'un produit de cure sur la surface peut nuire à l'efficacité ou à l'adhérence d'un autre matériau, comme un imperméabilisant à béton ou un enduit de surface; il doit donc être enlevé avant la reprise des travaux.

5.3.8 Inspection

À la suite de la cure du béton, les surfaces recouvertes de béton projeté doivent être inspectées par le surveillant au moyen d'un marteau de géologue. Le but de cette vérification est de détecter tout manque d'adhérence de la réparation avec le substrat ou tout vide autour des armatures.

L'entrepreneur est tenu de fournir l'accès aux surfaces à inspecter.

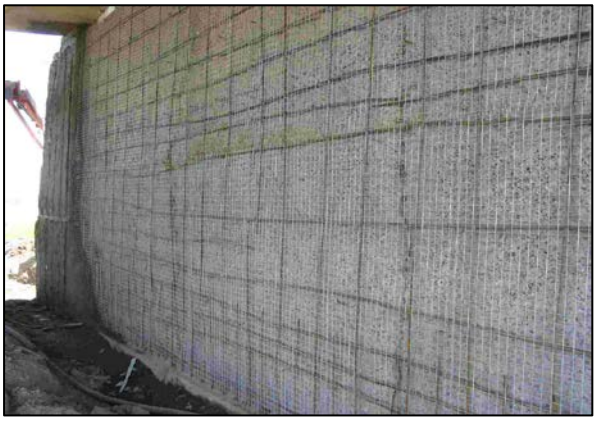
Comme l'évaluation de l'adhérence ou de la présence des vides se fait en écoutant le bruit fait par le marteau contre la surface bétonnée, il est bien important que cette vérification se fasse dans un environnement comportant le moins de bruit possible. Il est également important que la surface sondée ne soit pas gelée. Les manques d'adhérence et les vides sont alors comblés de glace, ce qui empêche l'émission du son creux caractéristique d'un défaut.

Lorsqu'un manque d'adhérence ou un vide sont détectés, la surface de béton est marquée. Les surfaces marquées doivent être réparées de nouveau par l'entrepreneur, y compris une zone de 150 mm au pourtour du défaut observé afin que la totalité du défaut soit bien englobée dans la nouvelle réparation.

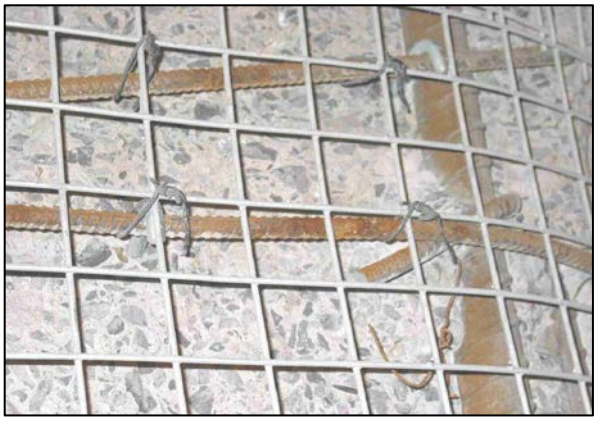
Précisons que dans le cas où des zones de réparations doivent être reprises, il est possible d'effectuer des réparations coffrées, car l'entrepreneur spécialisé en projection n'est souvent plus sur le site du chantier. Un béton de qualité équivalente (XIV-R) devrait alors être employé.

PHOTOGRAPHIES

BÉTON PROJETÉ



Treillis métallique galvanisé



Fixation du treillis métallique



Guide de projection (fils tendus)



Lance de projection du procédé humide



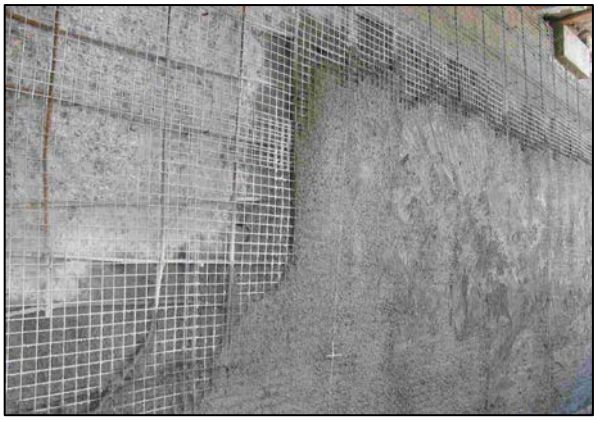
Projection d'un échantillon de béton



Pénétromètre à aiguille



Technique de projection adéquate



Travaux de projection en cours de réalisation



Arasement de la surface de béton



Finition à l'aide de la truelle rotative



Installation du système de cure avant la projection



Cure humide du béton projeté

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 5 – BÉTON PROJETÉ

MATÉRIAUX

- Béton projeté par procédé à sec : norme 3201 du Ministère
- Béton projeté par procédé humide : norme 3301 du Ministère
- Treillis métallique : norme 5101 du Ministère

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport.*

- Certifications
  - Bétonnière mobile ou centrale de dosage (BNQ)
  - Bétonnière mobile : certificat d'étalonnage pour chaque mélange signé par un ingénieur (moins d'un an)
  - Opérateurs de lance de projection : certificat de l'ACI (positions verticales et au plafond). Vérifier sur le site Internet de l'ACI la validité des certificats présentés
- Contrôle de réception
  - Selon CCDG
  - Se servir du *Guide du contrôle de la qualité du béton*
  - Mélange ensaché : vérifier l'étiquette des sacs en fonction des fiches descriptives fournies
  - Vérification de la consistance (procédé à sec)
    - → Se procurer un pénétromètre à aiguille (embout spécial de la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère, se le procurer par l'entremise de la direction générale territoriale)
    - → Confection des échantillons
      - Au moment choisi par le surveillant
      - À ne pas faire au début des travaux ni à la toute fin
    - → Vérifier la consistance du béton projeté
      - Sur l'ouvrage (avant et après la réalisation des échantillons)
      - Sur les échantillons
      - La consistance doit être similaire sur l'ouvrage et les échantillons

MISE EN ŒUVRE

- L'entrepreneur doit recevoir l'autorisation du surveillant avant de fixer des ouvrages provisoires au béton existant (voir section 15.4.3 CCDG)

Préparation des surfaces à recouvrir (eau propre)

- Nettoyage des surfaces de contact (béton et acier)

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Jet d'abrasif humide ou jet d'eau haute pression
- Jet d'abrasif humide : vérifier l'efficacité du filtre à air du compresseur pour éviter huile sur béton

– Nettoyage des joints de construction : jet d'eau 15 MPa ou 2 250 lb/po^2
– Nettoyage final à faire (jet d'eau 15 MPa ou 2 250 lb/po^2)
– Humidification des surfaces à faire (SSS)

Treillis

– Ancrages mécaniques posés conformément aux plans
– S'assurer que les armatures existantes et le treillis sont suffisamment fixés
  - Ligatures : fil d'acier galvanisé
– Chevauchement d'au moins 1 carreau (fils vis-à-vis)
– Dégagement de 25 mm sous le treillis
– Vérifier à partir des guides mis en place par l'entrepreneur
  - Enrobage minimal de béton au-dessus du treillis : 30 mm
  - Profils finaux

Conditions météorologiques

– Conditions météorologiques
  - Pas de pluie ou de ruissellement sur la zone des travaux
  - T° des surfaces et de l'air
    → > 5 °C et à la hausse
    → Pas sous 5 °C dans les 48 heures suivant l'application
  - T° du béton projeté : > 10 °C et < 25 °C
  - Pas d'application sur surfaces directement exposées au soleil
  - Temps chaud et venteux : envisager de travailler de soirée ou de nuit
  - Travaux interdits entre le 1er novembre et le 31 mars

Autorisation de mise en place du béton

– Avis de mise en place
  - Avis écrit de 24 heures avant toute mise en place
    → Séquence de mise en place
      - Conforme aux exigences du maintien de la circulation
      - Début des travaux : bas de la réparation et à partir des coins
    → Procédé humide : rythme de livraison ajusté au rythme de pose
  - Avis du surveillant autorisant la mise en place
    → Voir vérifications du CCDG et du manuel avant remise de l'avis écrit autorisant le bétonnage
  - Valider avec l'entrepreneur les quantités payables correspondant à chacune des épaisseurs de réparation prévues au bordereau

Application du béton projeté

– Généralités
  - Béton projeté par procédé à sec

→ Bétonnière mobile ou mélange ensaché
→ Bétonnière mobile : se référer au chapitre 4 de ce manuel
→ Préhumidification homogène
→ Mélange ensaché
  - Doit être sec au moment de leur utilisation (les sacs contenant des mottes ou des matériaux hydratés doivent être rejetés)

- Béton projeté par procédé humide
  → Centrale de dosage ou bétonnière mobile
  → Centrale de dosage
    - Malaxage pendant au moins 5 minutes après ajout du superplastifiant
    - Mise en place à faire moins de 120 minutes après le gâchage
    - Fibres de polypropylène ajoutées à la centrale
  → Bétonnière mobile
    - Fibres de polypropylène mélangées au granulat fin à l'usine
    - Agent entraîneur d'air introduit dans l'eau du réservoir de la bétonnière
- Fiches descriptives des mélanges
  → À fournir au surveillant au moins 7 jours avant la mise en place
  → À analyser par le laboratoire mandaté par le Ministère
  → Le choix du procédé (sec ou humide) est fait par l'entrepreneur à moins d'indication contraire dans le devis spécial (p. ex. : procédé sec au plafond)
  → L'accélérateur de prise est l'un de ceux apparaissant dans le devis spécial (procédé à sec seulement)
- Mélange ensaché : s'assurer que le produit apparaît sur la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées ». Techniques de projection
  → Projection ⊥ aux surfaces
  → Mouvement circulaire
  → À environ 1 m des surfaces
  → Précautions particulières pour éviter des vides derrière les barres
  → Plusieurs passes rapides pour bâtir épaisseur voulue sans joint froid
  → Rencontre de 2 surfaces : opérer selon angle de 45°
  → Début et fin des travaux, débit du béton irrégulier : la lance doit être détournée de la surface de projection
- Divers
  → Application d'une façon constante et sans interruption
  → Application à suspendre si béton non homogène
  → Surplus de béton par rapport aux guides en place
  → Éclaboussures de béton séchées sur les armatures existantes ou le treillis à enlever

– Rebonds
  - Ne pas réutiliser les rebonds
– Application de béton projeté sur grande épaisseur
  - 1 seule couche (si plusieurs passes : 120 minutes maximum alors que le béton est toujours frais)
– Joints de construction
  - À la fin d'une journée de travail ou lors de tout arrêt prolongé

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Couche de béton doit être amincie selon un angle de 45°
- Reprise des travaux
  → Nettoyage des joints de construction : jet d'eau 15 MPa ou 2 250 lb/po^2
  → Béton de plus de 14 jours : humidifié jusqu'à saturation (sec en surface avant bétonnage)

Finition du béton (selon les guides)

- Ne pas utiliser d'eau pour faciliter la finition
- Arasement du surplus de béton (dès que le béton a acquis suffisamment de rigidité)
  - Vérifier sommairement le profil avec la règle de 3 m (tolérance : 15 mm)
- Régalage des surfaces (truelle rotative pour surfaces verticales)
- Aplanissement des surfaces (truelle de bois)
  - Vérifier les profils (règle de 3 m)
  - Enlever les guides et boucher les trous de ses supports
- Suspendre les travaux si travaux de finition non adéquats (ajouter finisseurs, diminuer cadence de pose)

Cure

- Durée : 7 jours consécutifs (T° du béton $>$ 5 °C)
- Méthodes de cure
  - Matériaux conformes à la norme 3501 du Ministère
  - T° de l'eau pour la cure $>$ 10 °C (à chauffer au besoin)
  - Humidification préalable à la cure
    → Au plus tard 60 minutes après la mise en place du béton
    → À répéter aussi souvent que nécessaire jusqu'au début de la cure
    → Équipement de pulvérisation manuelle (fines gouttelettes), éviter pression supérieure à eau de borne-fontaine
    → Éviter surplus d'eau (ne doit pas ruisseler ou couler)
  - Cure humide (toiles imbibées d'eau et feuilles imperméables). Les toiles doivent être mises en place au-dessus des surfaces avant la projection du béton. Imbiber d'eau les toiles aussitôt rabattues sur le béton; feuilles imperméables à poser immédiatement après. Vérifier les surfaces pour qu'elles soient constamment humides
  - Procédé à sec sur surfaces au plafond : matériau de cure formant membrane avec colorant fugace (s'assurer que le produit apparaît sur la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées »).

Inspection

- Après la cure
- Surfaces couvertes de béton projeté à vérifier (marteau de géologue)
- Accès fourni par l'entrepreneur
- Surfaces non conformes + 150 mm (vides ou manque d'adhérence) : à refaire
  - Reprise peut être effectuée au moyen d'une réparation coffrée

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

CHAPITRE 6

PRÉCONTRAINTE

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **6-1**

NORMES **6-3**

6.1 MATÉRIAUX **6-3**
6.1.1 Armature de précontrainte 6-3
6.1.2 Gaines 6-4
6.1.3 Coulis d'injection 6-5
6.1.4 Ferrures 6-6

6.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ **6-6**

6.3 BÉTON PRÉCONTRAINT EN PLACE **6-7**
6.3.1 Documents requis 6-7
6.3.2 Exigences de conception 6-9
6.3.3 Mise en œuvre 6-11

6.4 BÉTON PRÉCONTRAINT PRÉFABRIQUÉ **6-25**
6.4.1 Documents requis 6-25
6.4.2 Exigences de conception 6-27
6.4.3 Usine 6-27
6.4.4 Fabrication des poutres 6-27
6.4.5 Manutention et entreposage 6-33
6.4.6 Transport et mise en place des poutres 6-34

FIGURES

Figure 6.3-1 Description des parties du procédé de précontrainte par post-tension 6-10
Figure 6.3-2 Formulaire V-1889-A « Précontrainte longitudinale par post-tension » 6-19
Figure 6.3-3 Note explicative de l'exemple précédent, formulaire V-1889-A 6-20
Figure 6.3-4 Formulaire V-1889-B « Précontrainte transversale par post-tension » 6-21

TABLEAU

Tableau 6.2.1 Liste des fournisseurs ayant démontré la conformité de l'acier de précontrainte 6-7

PHOTOGRAPHIES 6-39

AIDE-MÉMOIRE 6-41

INTRODUCTION

La précontrainte est un procédé par lequel on comprime le béton pour annuler en partie ou en totalité les contraintes de traction produites par les charges le sollicitant. Étant donné la faible résistance en traction du béton, la précontrainte augmente la rigidité et la résistance des structures en béton en empêchant leur fissuration. La précontrainte est réalisée par la mise en tension d'armatures de précontrainte constituées de torons ou de barres d'acier à haute résistance. La précontrainte est une technique utilisée dans la construction d'ouvrages neufs en béton et dans le renforcement d'ouvrages en béton ou en acier.

Le béton précontraint permet de concurrencer directement les charpentes métalliques dans la plupart des projets. En effet, l'utilisation du béton précontraint permet de concevoir des ponts ayant de grandes portées tout en requérant des délais de livraison souvent inférieurs à ceux associés aux charpentes métalliques. Mentionnons, par contre, que les charpentes en béton précontraint ont un poids important qui ne peut pas convenir à tous les types de sols; de plus, le béton précontraint en place nécessite l'installation d'un étaiement, ce qui augmente les délais de construction.

Le béton précontraint est utilisé au Québec depuis près de 50 ans et il est présent sur environ 25 % de tous les ponts du Ministère actuellement en service.

Il existe deux modes de précontrainte : par post-tension et par prétension. La précontrainte par post-tension est réalisée à l'aide de câbles, qui sont constitués d'un ou de plusieurs torons, ou de barres, tendus après la mise en place du béton lorsque ce dernier est suffisamment résistant. L'armature de précontrainte est insérée à l'intérieur de gaines, permettant ainsi le libre déplacement de l'armature lors de la mise en tension. Lorsque la mise en tension de l'armature de précontrainte est terminée, celle-ci est bloquée par des ancrages aux extrémités de la pièce. Un coulis cimentaire servant principalement à protéger l'armature contre la corrosion est ensuite injecté dans les gaines.

Bien que les gaines soient généralement situées à l'intérieur du béton (post-tension intérieure), il peut arriver à l'occasion qu'elles soient localisées à l'extérieur de celui-ci (post-tension extérieure), notamment dans le cas d'une réparation ou d'un renforcement. L'ajout de précontrainte par post-tension extérieure peut augmenter la capacité structurale d'ouvrages présentant des déficiences en flexion ou à l'effort tranchant. Les barres d'acier à haute résistance sont souvent employées pour fixer les blocs d'ancrage utilisés dans le cas du renforcement d'un élément en béton au moyen de la précontrainte par post-tension extérieure.

La précontrainte par prétension, aussi connue sous le nom de précontrainte par armatures adhérentes, est réalisée à l'aide de torons tendus sur un banc de précontrainte en prenant appui sur des butées situées à ses extrémités. Le béton est ensuite mis en place en contact direct avec l'armature de précontrainte. Lorsque le béton a atteint la résistance minimale spécifiée, il faut procéder au transfert de la précontrainte en coupant les torons. Comme les armatures tendues ne sont pas libres

de revenir à leur longueur initiale, l'effort se reporte par adhérence au béton et la pièce se trouve ainsi comprimée. La majeure partie des torons d'une poutre sont droits alors qu'un certain nombre d'entre eux remontent vers le haut aux extrémités de la poutre; ces derniers sont appelés « torons relevés ». La précontrainte par prétension est généralement utilisée pour la fabrication de poutres en usine.

Les matériaux « béton », « armature » et « mortier cimentaire en sacs » ne sont pas traités dans ce chapitre, puisque ce dernier ne concerne que la précontrainte, c'est-à-dire les matériaux, les procédés et les opérations spécifiques à la mise en place adéquate de la précontrainte. Il faut se référer au chapitre 4 « Ouvrages en béton » pour ces matériaux. Bien que le matériau « béton » du béton précontraint soit similaire à celui du béton armé, la précontrainte exige, par contre, des connaissances particulières tant en ce qui concerne le matériau que la mise en œuvre. La précision des opérations de mise en œuvre est beaucoup plus élevée dans le cas du béton précontraint, ce qui nécessite plus d'attention de la part du surveillant pour mener à terme les travaux.

Les travaux liés à la précontrainte sont généralement réalisés par des entreprises spécialisées tant pour la fabrication de poutres en usine que pour la construction de tabliers. Le surveillant doit veiller à ce que les exigences du Ministère et les particularités du projet soient bien comprises par tous les intervenants; pour ce faire, il ne doit pas hésiter à convoquer le nombre de réunions de chantier nécessaires à l'atteinte de cet objectif.

Le rôle du surveillant relativement aux travaux incorporant du béton précontraint préfabriqué peut se résumer à mandater une firme spécialisée pour le suivi en usine de la fabrication de poutres; la mise en place des poutres au chantier est, quant à elle, similaire à celle s'appliquant aux poutres en acier. Par contre, dans le cas du béton précontraint en place, le rôle du surveillant est beaucoup plus important, et une partie appréciable de ce chapitre y est consacrée. Dans ce dernier cas, comme la mise en œuvre de la précontrainte se réalise en relativement peu de temps, son importance peut être à tort minimisée, compte tenu des nombreuses autres obligations du surveillant.

Jet d'air ou jet d'abrasif

Puisque l'utilisation d'un jet d'air ou d'un jet d'abrasif humide est rencontrée à maintes reprises pour traiter les surfaces, un rappel est fait ici sur l'importance de ne pas souiller les surfaces pour préserver la qualité du lien entre deux matériaux; cette façon de faire permet d'alléger le texte de ce chapitre.

L'entrepreneur doit donc démontrer l'efficacité du filtre installé sur le matériel utilisé à capter l'huile afin que les surfaces traitées ne soient pas souillées. Cette démonstration se fait au moyen d'une guenille blanche sur laquelle le jet est dirigé; toute trace d'huile détectée sur la guenille est un signe que le filtre est inefficace.

NORMES

Afin d'alléger le texte, la description complète des normes citées dans ce chapitre est faite ici. Ces normes sont :

- CAN/CSA-S6 : Code canadien sur le calcul des ponts routiers
- CAN/CSA-A23.4 : Béton préfabriqué : constituants et exécution des travaux
- ASTM A 416 : Standard Specification for Steel Strand Uncoated Seven-Wire for Prestressed Concrete
- ASTM A 722 : Standard Specification for Uncoated High- Strength Steel Bars for Prestressing Concrete
- Norme 3901 du Ministère : Coulis cimentaires
- Norme 5201 du Ministère : Armature de précontrainte

Mentionnons que les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

6.1 MATÉRIAUX

6.1.1 Armature de précontrainte

Les armatures de précontrainte sont constituées de torons ou de barres d'acier à haute résistance conforme à la norme 5201 du Ministère. L'acier des torons doit être conforme à la norme ASTM A 416 et il possède une résistance à la rupture f_{pu} minimale de 1 860 MPa. L'acier des barres doit être conforme à la norme ASTM A 722 et il possède habituellement une résistance à la rupture f_{pu} minimale de 1 030 MPa.

Contrairement aux torons, les barres d'acier à haute résistance peuvent être galvanisées sans que cela affecte leurs propriétés mécaniques. Les barres sont généralement galvanisées à l'usine du fabricant.

Dans le cas de la précontrainte par post-tension, les câbles sont constitués de torons à sept fils ayant généralement un diamètre nominal de 12,7 mm ou de 15,2 mm; ces derniers sont connus sous la nomenclature T13 et T15 respectivement. Les entreprises spécialisées dans la mise en œuvre de la post-tension proposent une gamme étendue de câbles de précontrainte pouvant contenir jusqu'à 42 torons T13 ou 31 torons T15. Mentionnons cependant qu'il peut arriver dans certaines circonstances exceptionnelles que le nombre de torons soit encore plus élevé. Parce qu'il est préférable d'utiliser des câbles de puissance moyenne dans les ouvrages courants en béton, afin de s'assurer d'une meilleure diffusion de la précontrainte, les câbles sont habituellement constitués de 12 à 19 torons.

Le câble monotoron est un cas particulier de la précontrainte par post-tension, puisqu'il est constitué, comme son nom l'indique, d'un seul toron (T13 ou T15). Bien que l'on y trouve les mêmes éléments (ancrage, gaine, etc.) que dans les câbles multitorons, ceux-ci sont plus simples. Le câble monotoron est employé pour la précontrainte transversale des dalles sur poutres.

La précontrainte par post-tension peut aussi être réalisée au moyen de barres en acier à haute résistance d'un diamètre nominal variant de 26 à 36 mm. Les barres, qui sont crénelées, sont raccordées les unes aux autres au moyen de manchons vissés à même les crénelures des barres.

Dans le cas de la précontrainte par prétension, par exemple lors de la fabrication de poutres NEBT, des torons identiques à ceux servant pour la précontrainte par post-tension (T13 ou T15) sont utilisés.

Les armatures de précontrainte doivent être propres et exemptes de rouille, d'huile, de saleté, de scories de laminage et de piqûres. Une mince couche de rouille est cependant jugée acceptable s'il est possible de l'enlever avec l'ongle. De plus, dans le cas particulier des torons, le contenu élevé en carbone de l'acier en fait un matériau sensible aux rayures, ce qui peut entraîner la rupture soudaine des fils, et parfois celle d'un toron, à cause de la concentration de contraintes. La manutention et la mise en œuvre des torons doivent donc être faites avec un grand soin. De plus, les torons sont sensibles aux hautes températures qui pourraient altérer leurs propriétés physiques, puisqu'ils ont déjà subi un traitement thermique lors du processus de fabrication. Par conséquent, il est exigé au CCDG que toute opération de soudage ou de cure à la vapeur vive au voisinage d'armatures de précontrainte soit formellement interdite.

Bien que de petites longueurs de torons altérés par la corrosion ou par des défauts de surface comme les rayures doivent parfois être rejetées, il n'est pas souvent nécessaire de rejeter tout le touret.

6.1.2 Gaines

Dans le cas de la précontrainte par post-tension intérieure, les gaines sont fabriquées en tôle d'acier ondulée. Les ondulations procurent une meilleure rigidité à la gaine contre l'écrasement et permettent aussi d'augmenter son adhérence au béton, en rendant impossible tout glissement longitudinal. Le raccordement de sections de gaines s'effectue à l'aide de manchons provenant d'un tronçon de gaine ayant un diamètre légèrement supérieur; ces manchons sont vissés aux extrémités à raccorder, les ondulations des gaines étant utilisées comme filetage. Les gaines ne doivent pas être galvanisées dans le cas de la précontrainte longitudinale; cette exigence du CCDG s'impose, car certaines recherches ont en effet démontré que la galvanisation peut être à l'origine du phénomène de fragilisation à l'hydrogène des torons. La fragilisation à l'hydrogène est un phénomène physique par lequel l'hydrogène s'insère à l'échelle atomique dans un métal pour le fragiliser et le fissurer. Puisque l'acier précontraint agit à de très hautes tensions, il est sensible à cet endommagement.

Précisons que les gaines pour la précontrainte transversale sont généralement galvanisées, puisque les gaines de petit diamètre ne sont disponibles que galvanisées; il est donc permis au CCDG d'utiliser de gaines galvanisées pour la précontrainte transversale. Le problème de la fragilisation à l'hydrogène se pose toutefois moins car cette précontrainte n'est pas installée pour contribuer à la résistance structurale mais bien pour donner une meilleure durabilité à une dalle.

Dans le cas de la précontrainte par post-tension extérieure, les gaines doivent être en polyéthylène à haute densité (P.E.H.D.) résistant aux rayons ultraviolets et être capables de supporter la pression de contact exercée par l'armature de précontrainte et la pression d'injection du coulis. Mentionnons que l'utilisation de gaines en polyéthylène est privilégiée à cause de la résistance élevée de cette matière à la corrosion. Le surveillant se doit de transmettre les données fournies par l'entrepreneur concernant les gaines en polyéthylène au concepteur afin que ce dernier puisse évaluer adéquatement la conformité du produit.

Bien que le matériau et la fabrication des gaines ne fassent pas l'objet d'exigences précises, celles-ci doivent être résistantes, étanches, propres, sans rouille et ne présenter aucune déformation. Les gaines qui ne respectent pas ces critères doivent être rejetées et remplacées par des pièces conformes. De plus, dans le cas où l'armature de précontrainte est un câble de précontrainte, elles doivent être suffisamment souples pour obtenir un profil régulier.

Le diamètre intérieur des gaines, qui varie selon le nombre de torons des câbles, est d'environ 25 mm pour un câble monotoron alors qu'il peut atteindre 125 mm pour les câbles multitorons. Règle générale, on utilisera une gaine dont le diamètre correspond à environ deux fois le diamètre nominal du câble. Dans le cas des barres d'acier à haute résistance, le diamètre de la gaine varie de 45 à 55 mm selon leur grosseur. Il est cependant plus fréquent de ne pas voir de gaines sur ces barres, qui sont installées sans autre protection que la galvanisation.

6.1.3 Coulis d'injection

Le coulis d'injection doit être conforme à la norme 3901 du Ministère. Seuls les coulis ensachés pour post-tension apparaissant à la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées » doivent être employés. Cette liste est disponible sur le site Internet du Ministère.

Ces coulis doivent être utilisés, car ils sont spécialement formulés pour cet usage. En effet, ces coulis ont une viscosité assez faible pour couler facilement et pénétrer dans tous les vides, dont ceux se trouvant entre les torons des câbles. Ils ont aussi un retrait minimal et ils sont compatibles avec l'acier des torons.

6.1.4 Ferrures

L'acier des ferrures (éléments d'acier noyés dans le béton, surtout utilisés pour les poutres préfabriquées) ne doit pas être galvanisé, car certaines recherches ont en effet démontré que la galvanisation peut être à l'origine du phénomène de fragilisation à l'hydrogène des torons.

6.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*.

L'usine chargée de la fabrication de poutres en béton précontraint préfabriqué doit être certifiée conformément à la norme CAN/CSA-A23.4. Cette exigence de l'article 15.4.2.1.3 « Certification du fabricant d'éléments en béton préfabriqués » du CCDG est importante, puisque la certification assure le Ministère que l'usine est en mesure de procéder à la fabrication selon les exigences de cette norme.

La certification à la norme CAN/CSA A23.4 des usines de béton précontraint doit être délivrée selon le programme de certification du « Canadian Precast Concrete Quality Assurance » ou CPCQA. Cette certification était autrefois donnée par l'Institut canadien du béton préfabriqué/précontraint (CPCI). Cet organisme certifie les usines selon son programme, qui s'appuie sur la norme CSA A23.4. Les usines effectuant de la précontrainte doivent être certifiées selon les catégories B3 ou BA3 pour des éléments ne comportant que des torons droits et B4 ou BA4 lorsque les éléments comportent des torons relevés, ce qui est le cas des poutres de type NEBT.

La liste des usines certifiées selon chaque catégorie est accessible sur le site Internet du CPCQA, à l'adresse suivante :

https://www.precastcertification.ca/fr/

Lorsque le béton est gâché directement à l'usine de fabrication des poutres, sa fabrication est couverte par la norme CAN/CSA-A23.4. Par contre, si le béton est fabriqué dans une usine séparée et qu'il est livré à l'usine de fabrication des poutres, l'usine de fabrication du béton doit détenir un certificat de conformité délivré par le BNQ, comme cela est exigé pour le béton coulé en place (référence article 5.4.2.1.2 du CCDG).

L'acier des armatures de précontrainte est un produit de haute qualité. Les propriétés physiques de ce matériau doivent apparaître dans les attestations de conformité fournies au surveillant par l'entrepreneur. Le délai de deux semaines exigé au CCDG pour fournir ces attestations est important, car ces dernières sont nécessaires pour le concepteur dans son examen des plans d'atelier et des autres documents requis, notamment la procédure de précontrainte.

Le surveillant doit demander à l'entrepreneur la provenance de l'acier de précontrainte qu'il se propose d'utiliser. Si l'armature provient d'un fournisseur qui a déjà démontré la fiabilité de son produit, il n'est pas nécessaire de procéder à un contrôle de réception. Ces fournisseurs sont indiqués au tableau ci-dessous Par contre, si l'armature provient d'un autre fournisseur, le surveillant doit procéder au contrôle de réception, comme il est mentionné dans le CCDG.

Tableau 6.2.1 Liste des fournisseurs ayant démontré la conformité de l'acier de précontrainte

Fabricant	Pays d'origine
ArcelorMittal (Hamilton)	Canada
Steel wire	Canada
Titan steel and wire co.	Canada
Xinhua Metal Products co.	Chine
X.Links Industries	Chine
Qinhuangdao Tianyou	Chine
Shanghui Shenjia	Chine
Ossen (Maanshan)	Chine
Hunan Xianghui	Chine
Jiangyn Fasten Steel	Chine
Tianjin Chunpeng	Chine
Tianjin Golic	Chine
CB Trafilati Accial	Italie
Tycsa	Espagne
Bridon Wire	Angleterre
Fontain Union	Belgique
Haggie Wire &Strand	Afrique du Sud
Insteel Industries	États-Unis
Trefileurope Inc.	Europe

6.3 BÉTON PRÉCONTRAINT EN PLACE

6.3.1 Documents requis

L'entrepreneur doit compléter les plans de soumission en préparant des plans d'atelier et une note de calcul de la précontrainte, puisque les plans de soumission ne contiennent pas le détail de l'armature de précontrainte; ces documents doivent être ensuite remis au surveillant.

Avant de commencer la préparation de la note de calcul de la précontrainte, l'entrepreneur doit faire approuver par le surveillant les différentes caractéristiques du procédé de précontrainte proposé, tel que cela est demandé dans le CCDG. Le surveillant doit transmettre ces informations au concepteur pour analyse et approbation;

quelques jours suffisent normalement au concepteur pour les valider. Cette approbation préalable est nécessaire pour s'assurer que les hypothèses utilisées pour la note de calcul sont adéquates.

Il peut arriver que l'entrepreneur désire utiliser un procédé de précontrainte non encore expérimenté par le Ministère. Il doit alors faire approuver ce procédé avant le début des travaux en remettant au surveillant toutes les caractéristiques techniques s'y rapportant. Le surveillant doit transmettre ces informations au concepteur, qui lui doit les faire suivre à la Direction générale des structures du Ministère pour analyse et approbation.

Mentionnons qu'aucun nouveau procédé de précontrainte n'a été approuvé au cours des dernières années, parce qu'il existe une certaine stabilité à ce sujet chez les fournisseurs. Les systèmes de précontrainte approuvés jusqu'à présent, autant pour les torons que pour les barres, sont ceux utilisés par BBR Québec (1980) inc. et par SYSTEMS INTERNATIONAUX DYWIDAG QUEBEC INC.; ce dernier est commercialisé par Acier AGF inc.

De plus, au moins deux semaines avant la mise en tension, l'entrepreneur doit fournir au surveillant les documents suivants :

- les certificats d'étalonnage des vérins, des pompes et des manomètres qui seront utilisés lors de la mise en tension. Ces certificats devraient être délivrés par un laboratoire spécialisé et ils doivent être datés de moins de six mois. Ces exigences du CCDG s'imposent afin d'avoir des équipements ayant une précision suffisante pour obtenir la force de précontrainte désirée;
- la procédure de précontrainte, c'est-à-dire le calcul des tensions et des allongements correspondant à la force de précontrainte requise;
- le coulis qu'il se propose d'utiliser.

Mentionnons que la force de précontrainte est celle induite dans une membrure par un ou par plusieurs câbles tendus qui y sont incorporés. La force de précontrainte est une notion principalement associée au concepteur. Le surveillant, quant à lui, doit plutôt s'intéresser au respect des exigences des plans afin d'obtenir cette force; ces principales exigences concernent le profil des gaines, le nombre de torons et de câbles, et la procédure de précontrainte.

Le surveillant doit ensuite transmettre ces documents le plus rapidement possible au concepteur pour analyse afin que ce dernier puisse les retourner au surveillant au moins quelques jours avant la mise en tension de l'armature de précontrainte.

Approbation des documents

Les plans d'atelier doivent être signés et scellés par un ingénieur; dans le cas de la note de calcul de la précontrainte et de la procédure de la précontrainte, elles doivent être signées par un ingénieur. La note de calcul et les plans d'ateliers doivent également être signés par un second ingénieur, qui en effectue la vérification. Cette vérification est

exigée compte tenu de l'importance des calculs et des plans d'atelier de la précontrainte, ces derniers complétant en réalité la conception faite par le concepteur mandaté par le Ministère.

L'entrepreneur doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG pour la remise de ces documents, y compris le délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour étudier les documents et le nombre minimal de copies à fournir selon le format ISO A1.

Le surveillant doit faire viser par le concepteur les plans d'atelier, la note de calcul de la précontrainte et la procédure de précontrainte; les documents visés sont ensuite retournés au surveillant. Le visa est un acte par lequel le concepteur reconnaît que les documents sont conformes dans leurs grandes lignes aux exigences; l'entrepreneur conserve cependant l'entière responsabilité de la conception, de l'exactitude des détails, des dimensions et des quantités. La figure 7.1-1 du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » de ce manuel montre l'estampe type utilisée à titre de visa.

La mise en œuvre du procédé de précontrainte ne doit pas débuter avant l'approbation des documents.

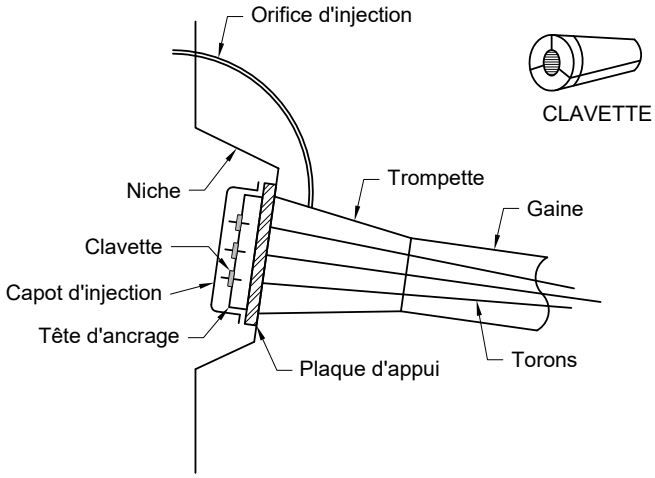
6.3.2 Exigences de conception

Les plans de soumission ne stipulent généralement pas de procédé de précontrainte en particulier, mais simplement une exigence pour son acceptation; cette façon de faire est nécessaire pour ne pas favoriser une entreprise spécialisée en précontrainte plus qu'une autre. L'entrepreneur doit donc faire appel à l'une de ces entreprises qui utilisent un procédé de précontrainte approuvé par le Ministère.

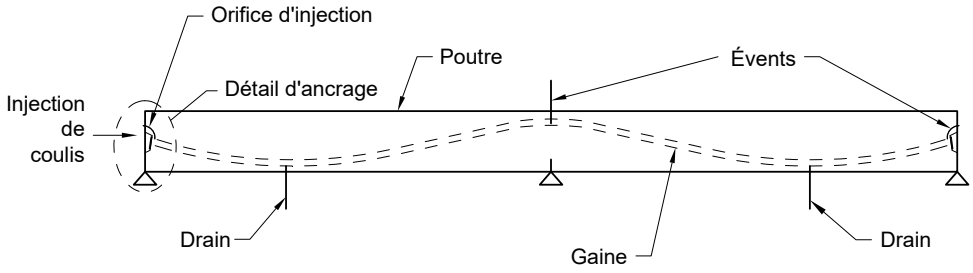
Il peut arriver pour un projet de peu d'envergure, notamment dans le cas d'un renforcement, que l'entrepreneur décide d'effectuer lui-même les travaux de précontrainte. Il faut alors qu'il s'associe tout de même à une entreprise spécialisée afin qu'elle puisse l'assister, et ce, en conformité avec les exigences du CCDG.

Outre les armatures de précontrainte, les gaines et le coulis d'injection déjà cités, les ancrages, l'armature de frettage ainsi que les évents, les drains et les conduits des orifices d'injection font partie de tout procédé de précontrainte. L'armature de frettage sert à résister aux contraintes de fendage et d'éclatement générées par l'ancrage lorsque la précontrainte est active. Les évents, les drains et les conduits des orifices d'injection sont généralement munis de valves servant à fermer ou à ouvrir ces derniers; il peut arriver que l'entrepreneur préfère procéder au cintrage de ces éléments plutôt que d'utiliser des valves.

La figure 6.3-1 montre les principales parties de tout procédé de précontrainte par post-tension.



DÉTAIL D'ANCRAGE



ÉLÉVATION

Figure 6.3-1 Description des parties du procédé de précontrainte par post-tension

Outre les pièces déjà citées pour la précontrainte intérieure, les blocs d'ancrage ainsi que les déviateurs et les supports intermédiaires font partie de tout procédé de précontrainte extérieure. Les blocs d'ancrage, les déviateurs ainsi que les supports intermédiaires sont normalement détaillés dans les plans de soumission.

Le bloc d'ancrage, fabriqué en béton ou en acier, qui est une des parties majeures de tout procédé de précontrainte extérieure utilisé pour un renforcement, sert à fixer l'ancrage retenant l'armature de précontrainte. Il doit être solidement fixé à l'élément à renforcer pour assurer efficacement le transfert de la force de précontrainte sur celui-ci. Dans les ouvrages en béton, il est courant que des barres en acier à haute résistance soient utilisées pour fixer le bloc d'ancrage, étant donné la charge élevée à transférer.

Contrairement à la précontrainte par post-tension intérieure où il est possible de donner un profil courbe aux gaines, l'utilisation de la précontrainte par post-tension extérieure permet seulement la pose de tronçons rectilignes. Il est toutefois possible de donner un profil simple à l'armature de précontrainte par l'intermédiaire de déviateurs qui changent sa direction. Mentionnons que cette façon de faire ne s'applique généralement pas au renforcement d'un pont, puisque dans ce cas les armatures de précontrainte sont droites sur toute leur longueur.

Mentionnons que les ouvertures supplémentaires dans les déviateurs et les zones d'ancrage mentionnées dans le CCDG ne s'appliquent généralement pas aux projets de renforcement de ponts.

Afin d'éviter la vibration excessive des armatures de précontrainte qui pourrait être à l'origine du phénomène de fatigue, il faut que la longueur libre des armatures de précontrainte n'excède pas 10 m. Si les blocs d'ancrage ou les déviateurs sont trop espacés, des supports intermédiaires sont prévus dans les plans d'atelier pour stabiliser les armatures de précontrainte. En général, ces supports sont des dispositifs légers qui sont peu sollicités.

De plus, dans certains cas, des manchons de dilatation peuvent être requis pour reprendre le mouvement longitudinal des gaines attribuables aux variations de température. Ces accessoires sont détaillés dans les plans d'atelier.

6.3.3 Mise en œuvre

Puisque la précontrainte extérieure est une variante de la précontrainte intérieure, sa mise en œuvre (installation, mise en tension de l'armature de précontrainte et injection du coulis) doit respecter essentiellement les exigences concernant la précontrainte intérieure.

Dans le cas particulier d'un renforcement d'une structure existante constituée de poutres en béton précontraint, l'installation de blocs d'ancrage est une opération délicate qui exige un travail soigné. En effet, il est important lors du forage des trous nécessaires à l'insertion des barres de précontrainte de ne pas toucher aux torons à l'intérieur de la poutre à renforcer. L'entrepreneur doit donc les localiser le plus précisément possible et utiliser un équipement approprié pour ne pas endommager la pièce à renforcer. Précisons que les appareils de détection à ondes électromagnétiques ou radar donnent les meilleurs résultats.

Toutes les pièces constituant le procédé de précontrainte, les équipements utilisés pour la mise en tension et les matériaux (gaines, armature de précontrainte et coulis) doivent être inspectés par le surveillant à leur arrivée sur le chantier; celui-ci doit s'assurer qu'ils satisfont aux exigences des plans d'atelier et qu'ils sont conformes aux autres documents fournis.

Il doit tout particulièrement veiller à ce que les informations apparaissant sur les étiquettes des tourets correspondent à celles des attestations de conformité fournies

par l'entrepreneur. Il doit aussi vérifier que le vérin, la pompe hydraulique et le manomètre livrés au chantier correspondent aux équipements prévus par l'entrepreneur à la partie 6.3.1 « Documents requis » du présent chapitre.

Toute pièce ou tout matériau endommagé doivent être rejetés et remplacés.

Les composants du procédé de précontrainte devraient être entreposés à l'abri des intempéries, puisque leur altération peut diminuer l'efficacité de la précontrainte et, par conséquent, la performance de l'ouvrage en service. Les tourets sont généralement livrés montés sur des supports, ce qui facilite le déroulement des torons; de plus, les tourets sont enveloppés afin de les protéger de la pluie et des saletés.

Le succès des opérations de mise en tension de l'armature de précontrainte et de l'injection du coulis, donc de la performance de la structure en service, est largement tributaire du soin que le surveillant apporte aux vérifications des pièces et des matériaux utilisés et des précautions prises pour protéger ces derniers des intempéries.

Il est recommandé d'organiser une réunion préalable à la mise en œuvre du procédé de précontrainte, regroupant les représentants de l'entrepreneur, ceux de l'entreprise spécialisée en précontrainte et ceux du Ministère. L'ordre du jour de cette réunion doit prévoir notamment une analyse de toutes les étapes du processus de mise en œuvre, les caractéristiques des matériaux et de l'équipement utilisés ainsi que le calendrier des travaux.

6.3.3.1 Gaines pour précontrainte intérieure

Les gaines doivent être placées avec une précision de ± 6 mm (verticalement et horizontalement) par rapport aux profils indiqués dans les plans d'atelier. Par contre, dans le cas de la précontrainte transversale, la précision sur l'emplacement des gaines est de ± 3 mm; cette plus grande précision est nécessaire compte tenu de la faible épaisseur des dalles sur poutres. Des écarts à ce niveau peuvent entraîner une augmentation des pertes de précontrainte par frottement et occasionner des difficultés lors de la mise en tension de l'armature de précontrainte.

De plus, les ancrages doivent être perpendiculaires à la pente des gaines, puisqu'une cassure angulaire imposée à l'armature de précontrainte peut induire des contraintes de flexion non prévues dans cette dernière.

Les gaines doivent être solidement fixées à des supports pour qu'elles ne se déplacent pas lors du bétonnage. Ces supports, qui sont fabriqués habituellement de sections d'acier d'armature, doivent être attachés aux étriers. En aucun cas, l'espacement entre ces supports ne doit excéder 600 mm afin qu'il soit plus facile d'obtenir le profil désiré de l'armature de précontrainte. Le respect de cet espacement permet également d'éviter le déplacement des gaines lors du bétonnage, autant par la poussée du béton lors de sa mise en place que par la poussée d'Archimède.

Le raccordement des gaines doit être effectué au moyen de manchons qui sont la plupart du temps constitués de section de gaines fendues qui sont rendus étanches par l'application d'un ruban adhésif résistant à l'humidité (communément appelé « duct tape ») pour éviter que la laitance pénètre à l'intérieur des gaines. Cette précaution est très importante, compte tenu des conséquences dramatiques associées à l'obstruction des gaines par le béton.

Le surveillant doit s'assurer que les évents, qui doivent être disposés aux extrémités des gaines et aux points hauts du profil des gaines pour éviter la formation de poches d'air dans la gaine ainsi que les drains, qui doivent être disposés aux points bas du profil des gaines, sont en place.

Mentionnons que le conduit pour l'injection du coulis doit aussi être mis en place adéquatement. Dans le cas des tabliers post contraints, les conduits d'injection aux extrémités devraient être positionnés sur la face verticale du tablier et non sur le dessus de la dalle, afin d'obtenir une meilleure durabilité.

Pour le cas de la précontrainte transversale, ces évents, drains ou conduits d'injection ne doivent pas être placés à l'intérieur d'un chasse-roue, d'un trottoir, d'une piste cyclable ou d'une glissière en béton afin de ne pas réduire la durabilité de ces éléments.

L'entrepreneur doit aussi prendre les dispositions nécessaires pour protéger la partie des armatures de précontrainte située à l'extérieur des gaines et pour empêcher l'eau et les autres débris de s'infiltrer dans les gaines une fois celles-ci installées, et cela, jusqu'à l'injection du coulis. Pour ce faire, il est de bonne pratique de se servir de pellicules de polyéthylène et de détourner l'eau utilisée pour la cure du tablier.

6.3.3.2 Gaines pour précontrainte extérieure

Les dispositifs permettant de raccorder les évents et les drains aux gaines doivent être capables de résister à une pression d'injection d'au moins 1 000 kPa. Aucun perçage des gaines n'est permis lorsque les armatures de précontrainte sont à l'intérieur, car cette opération pourrait endommager les armatures.

Les gaines doivent être soutenues provisoirement au moyen de supports temporaires afin de limiter leur déformation sous le poids du coulis lors de l'injection.

Lorsqu'applicables, les autres informations concernant les gaines pour la précontrainte extérieure sont les mêmes que pour les gaines relatives à la précontrainte intérieure.

6.3.3.3 Mise en place de l'armature de précontrainte et des ancrages

Puisque les torons sont sensibles aux hautes températures qui pourraient altérer leurs propriétés physiques, suite au traitement thermique lors du processus de fabrication, il est exigé au CCDG que la coupe des torons soit faite au moyen d'une meule.

L'entrepreneur doit s'assurer que les torons ne sont pas salis lors de l'installation de l'armature de précontrainte dans les gaines en évitant tout contact des torons avec le sol notamment. Le surveillant doit être très pointilleux sur ce point, surtout qu'il n'est pas toujours possible de nettoyer adéquatement une armature de précontrainte une fois celle-ci dans sa gaine, car une armature sale nuit à l'adhérence du coulis d'injection.

L'insertion des torons dans les gaines doit se faire par tirage uniquement et avant le bétonnage des éléments. L'insertion par tirage est exigée au CCDG, car la méthode par poussage parfois utilisée entraîne l'entremêlement des torons, ce qui complique les opérations de mise en tension. De plus, le câble est introduit en entier dans la gaine en une seule opération lorsque la méthode par tirage est employée. L'insertion des torons se fait avant le bétonnage car dans le cas où du béton s'introduirait dans une gaine (attribuable à un mauvais joint ou autre), il sera tout de même possible de faire la mise en tension. Si les torons ne sont pas en place et qu'une gaine se bouche lors du bétonnage, il ne sera plus possible d'y insérer le toron.

Les ouvertures dans les ancrages doivent être propres pour assurer un fonctionnement parfait des clavettes. De plus, les ancrages doivent être solidement fixés au coffrage pour empêcher leur déplacement lors du bétonnage du tablier; cette exigence du CCDG permet aussi d'éviter que le béton ne s'introduise dans les niches ou pire, dans les ouvertures des ancrages, ce qui compliquerait les opérations de mise en tension de l'armature de précontrainte.

La mise en place de l'armature de frettage des ancrages doit être faite selon les indications des plans d'atelier. Celle-ci est habituellement installée en même temps que l'armature « régulière », qui est détaillée aux bordereaux d'armature des plans de construction.

Bétonnage

Mentionnons que le bétonnage du tablier doit être conforme aux exigences du chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel. Avant de procéder au bétonnage, le surveillant doit inspecter soigneusement toutes les gaines sur toute leur longueur pour s'assurer qu'aucune d'entre elles n'a été déformée ou déplacée au cours des opérations de ferraillage par exemple. Le surveillant se doit de consulter le concepteur lorsqu'une ou plusieurs gaines présentent une déformation importante pour vérifier l'impact de celle-ci sur la mise en tension des armatures de précontrainte. Une déformation importante est généralement définie comme celle associée au voilement de la paroi de la gaine.

De plus, des précautions doivent être prises pour ne pas endommager les gaines lors du bétonnage. Pour ce faire, afin d'éviter leur déplacement ou leur déformation, le béton ne doit pas être déversé directement sur les gaines. Le surveillant doit aussi veiller à ce que la vibration du béton soit exécutée de façon très soignée, tout particulièrement près des ancrages, à cause de la concentration élevée d'armatures qui s'y trouve, afin

d'éviter la formation de nids de cailloux qui sont préjudiciables au comportement de l'ouvrage. En effet, les ancrages sont soumis à des contraintes très élevées lorsque la précontrainte est active.

6.3.3.4 Mise en tension de l'armature de précontrainte

Avant la mise en tension

L'entrepreneur doit procéder à la mise en tension de l'armature de précontrainte aussitôt que le béton a atteint la résistance minimale apparaissant dans les plans d'atelier. Des éprouvettes témoins, maintenues dans les mêmes conditions que l'ouvrage, sont fracturées pour déterminer si la résistance en compression du béton est adéquate. Aussitôt celle-ci obtenue, l'application hâtive de la précontrainte permet de diminuer le plus possible la fissuration du béton au jeune âge et de s'assurer ainsi de conserver l'intégrité de l'ouvrage.

Rappelons que le raccourcissement élastique et la cambrure de la structure doivent se faire librement pour ne pas induire des pertes de précontrainte parasitaires lors de la mise en tension de l'armature de précontrainte. L'étaiement et les coffrages, par exemple, ne doivent pas entraver la déformation de la structure lors de cette opération. C'est d'ailleurs à cette fin que le CCDG interdit la mise en place de tirants de coffrage dans les poutres précontraintes. Le surveillant doit se référer aux articles 15.4.3.1.3 « Accessoires des coffrages » et 15.4.3.2 « Étaiement » du CCDG en ce qui a trait aux exigences pour ces éléments.

Le surveillant doit se reporter au chapitre 9 « Équipements » de ce manuel en ce qui concerne l'enlèvement des plaques de retenue des appareils à élastomère confiné suite au bétonnage du tablier.

Le surveillant doit veiller à ce qu'il n'y ait aucun nid de cailloux ou vide près des ancrages; il faut prévoir au besoin des réparations avant de procéder à la mise en tension de l'armature de précontrainte.

Durant la mise en tension

Le surveillant se doit de s'assurer que le concepteur est sur les lieux lors de la mise en tension de l'armature de précontrainte. Cette précaution est importante, car ce dernier est la personne tout indiquée pour aider à résoudre les problèmes qui pourraient survenir lors de la mise en tension.

Si de l'armature de précontrainte transversale est prévue dans l'ouvrage, il faut généralement la tendre avant l'armature de précontrainte longitudinale s'il n'y a pas une indication contraire dans les plans d'atelier, notamment dans le cas où les travaux sont réalisés en plus d'une phase. Cette exigence du CCDG s'impose afin d'obtenir une meilleure efficacité de la précontrainte longitudinale qui joue un rôle structural important.

L'entrepreneur doit procéder à la mise en tension conformément aux plans d'atelier et à la procédure de précontrainte préalablement visés par le concepteur. Mentionnons que l'ordre de mise en tension des armatures de précontrainte se fait de façon symétrique pour ne pas induire des contraintes de construction indésirables dans l'ouvrage. Sauf exception, la mise en tension se fait aux deux extrémités de la structure, soit de façon simultanée avec deux vérins, soit de façon non simultanée avec un seul vérin; dans ce dernier cas, le terme *lift off* est couramment utilisé. Cette pratique consiste à reprendre la tension sur l'extrémité non tendue du même câble et à l'augmenter jusqu'à l'atteinte de la tension exigée sur les plans.

La mise en tension de façon non simultanée est la méthode la plus couramment employée. Dans le cas de câbles ayant un ancrage passif, la mise en tension se fait par une seule extrémité. Mentionnons qu'un câble avec un ancrage passif est un câble accessible seulement qu'à une seule extrémité.

Contrairement à la pratique en usine pour la fabrication de poutres en béton préfabriqué où un seul toron est mis en tension à la fois, tous les torons d'un même câble sont mis en tension en même temps. Il peut, par contre, arriver que la mise en tension se fasse tout de même un seul toron à la fois lorsque l'espace disponible pour le vérin est restreint.

La tension appliquée à l'armature de précontrainte est mesurée à l'aide du manomètre du vérin et elle est vérifiée par l'allongement de celle-ci, car il y a une relation linéaire entre ces deux mesures. La mesure de l'allongement permet de détecter toute anomalie qui pourrait survenir durant la mise en tension, notamment un blocage du câble de précontrainte. Dans ce cas, l'allongement mesuré serait plus faible que la pression au vérin, puisque la longueur tendue du câble ne correspondrait pas à la longueur prévue. La mesure d'allongement doit donc doit être prise avec le plus de précision possible (une précision d'environ 2 mm est jugée acceptable).

Les mesures de pression au manomètre et d'allongement de chaque armature de précontrainte doivent être prises en même temps. La première mesure, appelée mesure de démarrage, doit être prise à une tension initiale afin de tenir compte du mou du câble pour ne pas fausser les résultats de la mise en tension finale Une valeur de pression initiale au manomètre est généralement indiquée sur la procédure de précontrainte. Celle-ci correspond à environ 10 à 15 % de la force totale de précontrainte requise.

La mesure d'allongement du câble à la tension de démarrage est bien entendu arbitraire car elle est dépendante du mou initialement présent dans les câbles. Cette valeur d'allongement au départ sert par contre uniquement de référence pour évaluer la différence d'allongement du câble à partir du démarrage. La valeur « réelle » d'allongement du câble de la tension 0 à la tension de démarrage sera calculée à la fin de la mise en tension par proportion, basée sur la relation allongement/contrainte du câble qui est linaire puisque l'acier du câble a un comportement élastique.

Précisons que les sous-traitants en précontrainte ont souvent tendance à utiliser leurs propres formulaires pour noter les pressions et les allongements. Ces formulaires

utilisent bien souvent une mesure théorique pour évaluer l'allongement des câbles à la tension initiale. Le surveillant doit éviter de se servir de ces formulaires et de la valeur théorique d'allongement des câbles à la tension initiale, puisque cela peut le mener à sous-évaluer l'écart total mesuré pour l'allongement.

La mise en tension d'une armature de précontrainte est jugée conforme lorsque les mesures de pression au manomètre et d'allongement se situent à l'intérieur d'un écart de ± 5 % par rapport aux valeurs apparaissant dans la procédure de précontrainte, sinon le surveillant doit arrêter les travaux. L'entrepreneur doit alors faire accepter par le surveillant les mesures correctives qu'il propose, d'où l'importance de la présence du concepteur sur place afin de permettre la reprise rapide des travaux. Bien qu'une friction des câbles différente de celle prévue soit le motif le plus courant pouvant expliquer un écart excessif, il peut arriver que la calibration du vérin soit en cause ou, lorsque la mise en tension se fait avec un seul vérin, que les valeurs anticipées relatives du glissement à l'ancrage à l'extrémité sans vérin soient erronées. Une erreur de la valeur du module d'élasticité de l'armature de précontrainte peut aussi représenter une cause possible de tout écart excessif.

Les valeurs anticipées du glissement à l'ancrage à l'extrémité de l'armature de précontrainte où est situé le vérin doivent être vérifiées après la mise en tension de chaque armature, car cela a une grande importance en ce qui a trait aux pertes de précontrainte du procédé. En effet, dans les procédés usuels de précontrainte, bien que les torons soient bloqués par le frottement développé par le coincement des clavettes sur l'ancrage, l'armature de précontrainte glisse sur une certaine distance avant d'être immobilisée.

Le glissement à l'ancrage est mesuré en marquant un toron du câble, ou la barre de précontrainte, au moyen d'un crayon-feutre et en mesurant la distance avant et après la relâche du vérin entre cette marque et l'arrière du vérin. Par contre, il faut soustraire de l'allongement total mesuré le raccourcissement élastique du câble à l'intérieur du vérin, car la mesure de l'allongement s'effectue à l'arrière du vérin, alors que l'ancrage permanent du câble est situé à l'avant.

Après la mise en tension de chaque armature, la mesure du glissement à l'ancrage d'un toron du câble ou de chaque barre doit donc être prise et comparée à la valeur indiquée dans les plans d'atelier. Un glissement à l'ancrage, après la relâche du vérin, est généralement nécessaire pour coincer les torons dans l'ancrage. Si le glissement à l'ancrage mesuré s'écarte de plus de 2 mm de la valeur indiquée dans les plans d'atelier, le surveillant se doit d'arrêter les travaux et de consulter le concepteur. Cette exigence n'est pas indiquée dans les documents contractuels, mais elle constitue la limite de ce qui est acceptable; un écart plus important pourrait indiquer des problèmes d'huile ou de lubrification sur les torons.

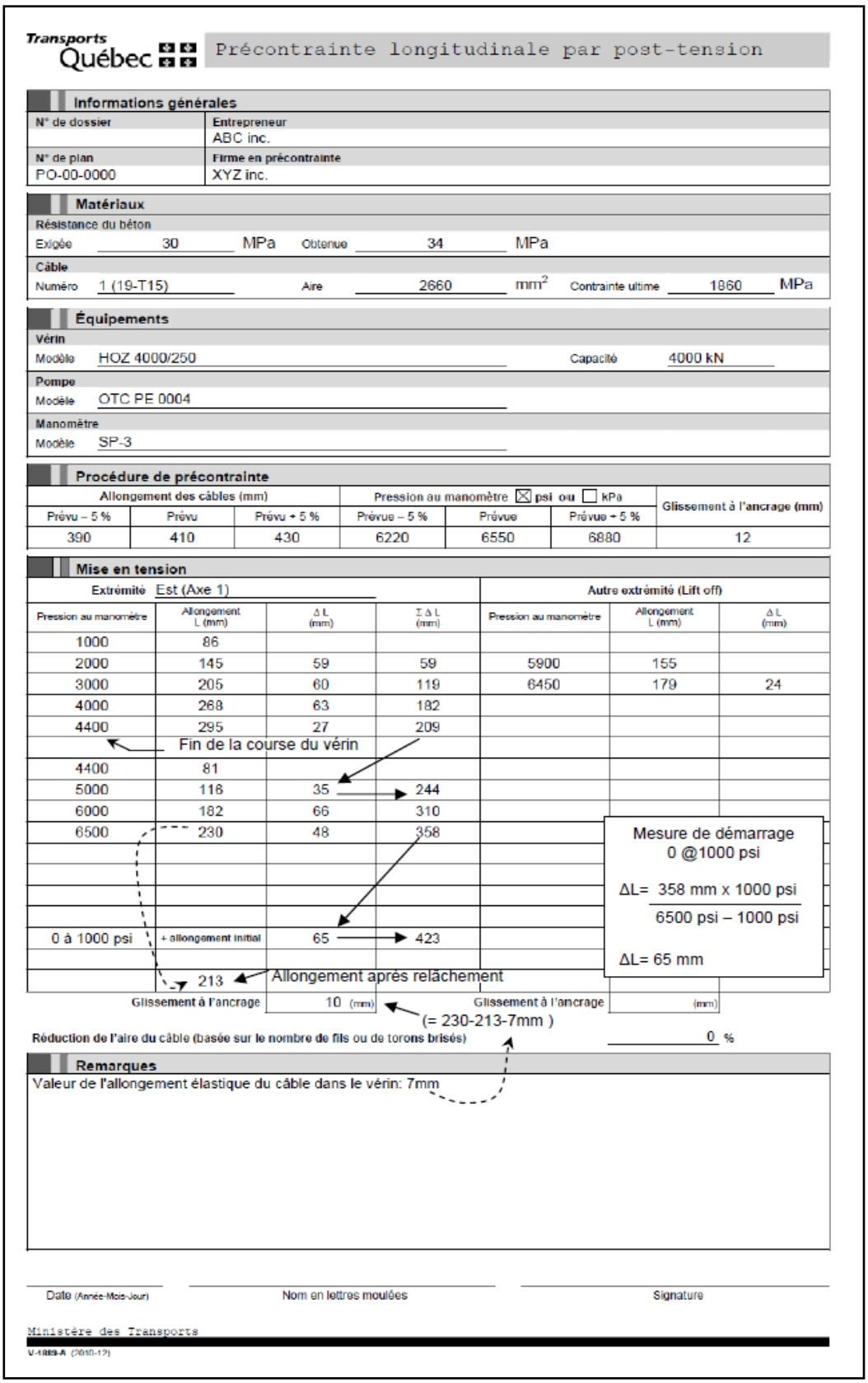
Il est important de mentionner que le glissement à l'ancrage n'est pas tenu en compte dans la valeur visée pour l'allongement final de l'armature de précontrainte dans la procédure de précontrainte. La valeur de glissement mesurée ne doit donc pas être déduite de l'allongement total mesuré à la mise en tension. Le glissement à l'ancrage

est par contre considéré par le concepteur dans ses hypothèses de calcul pour la force de précontrainte à long terme. Pour cette raison, il est important de valider au chantier la valeur du glissement à l'ancrage après relâchement.

La pression au manomètre appliquée en chantier ne doit pas excéder l'écart de « + 5 % » indiqué dans la procédure de précontrainte. Si celle-ci dépassait cet écart, le surveillant doit arrêter la mise en tension. Il doit communiquer avec le concepteur pour la suite des opérations, le remplacement de l'armature de précontrainte pourrait même être envisagé. Le surveillant se doit d'être très vigilant lors de la mise en tension, car la tension prévue est très près de la limite d'élasticité de l'armature de précontrainte.

Bien que l'opérateur chargé de la mise en tension des armatures de précontrainte enregistre la pression au manomètre et l'allongement de chaque armature durant la mise en tension, le surveillant doit inscrire ses propres valeurs sur les formulaires V-1889-A « Précontrainte longitudinale par post-tension » et V-1889-B « Précontrainte transversale par post-tension » prévus à cet usage. Les informations comme la pression au manomètre et l'allongement théorique des armatures correspondantes proviennent de la procédure de précontrainte visée par le concepteur.

Dans les figures suivantes, des exemples de ces formulaires remplis sont présentés. La figure 6.3-3 schématise, quant à elle, la position du vérin au regard des valeurs données dans l'exemple du formulaire suivant.



Transports Québec

Précontrainte longitudinale par post-tension

Informations générales

N° de dossier	Entrepreneur
	ABC inc.
N° de plan	**Firme en précontrainte**
PO-00-0000	XYZ inc.

Matériaux

Résistance du béton

Exigée 30 MPa Obtenue 34 MPa

Câble

Numéro 1 (19-T15) Aire 2660 mm^2 Contrainte ultime 1860 MPa

Équipements

Vérin

Modèle HOZ 4000/250 Capacité 4000 kN

Pompe

Modèle OTC PE 0004

Manomètre

Modèle SP-3

Procédure de précontrainte

Allongement des câbles (mm)			Pression au manomètre ☒ psi ou ☐ kPa			Glissement à l'ancrage (mm)
Prévu – 5 %	Prévu	Prévu + 5 %	Prévue – 5 %	Prévue	Prévue + 5 %	
390	410	430	6220	6550	6880	12

Mise en tension

Extrémité Est (Axe 1)

Pression au manomètre	Allongement L (mm)	ΔL (mm)	ΣΔL (mm)	Autre extrémité (Lift off) Pression au manomètre	Allongement L (mm)	ΔL (mm)
1000	86					
2000	145	59	59	5900	155	
3000	205	60	119	6450	179	24
4000	268	63	182			
4400	295	27	209			
	Fin de la course du vérin					
4400	81					
5000	116	35	244			
6000	182	66	310			
6500	230	48	358			
0 à 1000 psi	+ allongement initial	65	423			
	213	Allongement après relâchement				
Glissement à l'ancrage		10 (mm)		Glissement à l'ancrage		(mm)

(= 230-213-7mm)

Mesure de démarrage
0 @1000 psi

$\Delta L = \frac{358 \text{ mm} \times 1000 \text{ psi}}{6500 \text{ psi} - 1000 \text{ psi}}$

ΔL= 65 mm

Réduction de l'aire du câble (basée sur le nombre de fils ou de torons brisés) 0 %

Remarques

Valeur de l'allongement élastique du câble dans le vérin: 7mm

Date (Année-Mois-Jour) Nom en lettres moulées Signature

Ministère des Transports

V-1889-A (2010-12)

Figure 6.3-2 Formulaire V-1889-A « Précontrainte longitudinale par post-tension »

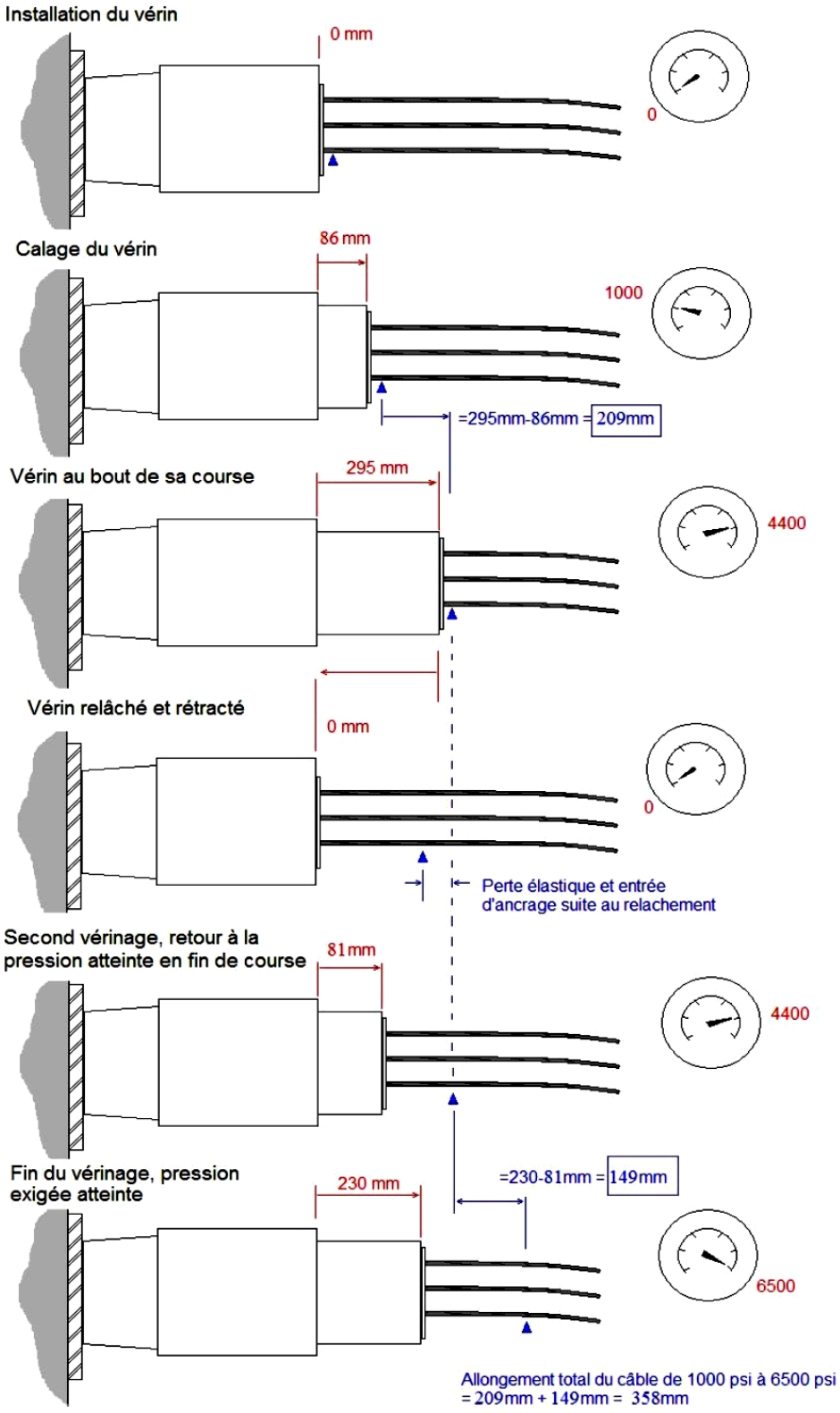


Figure 6.3-3 Note explicative de l'exemple précédent, formulaire V-1889-A

Transports Québec

Précontrainte transversale par post-tension

Note : La forme masculine utilisée dans ce formulaire désigne aussi bien les femmes que les hommes, lorsque le contexte s'y prête.

Informations générales

N° de dossier	Entrepreneur
	ABC inc.
N° de plan	**Firme en précontrainte**
PO-00-00000	XYZ inc.

Matériaux

Résistance du béton

Exigée 30 MPa Obtenue 34 MPa

Toron

Aire 1-T15 : 140 mm^2 Contrainte ultime 1860 MPa

Équipements

Vérin

Modèle VELZY 30T Capacité 30 t

Pompe

Modèle OTC PE 004

Manomètre

Modèle SP-3

Procédure de précontrainte

Allongement des câbles (mm)			Pression au manomètre ☒ psi ou ☐ kPa			Glissement à l'ancrage (mm)
Prévu – 5 %	Prévu	Prévu + 5 %	Prévue – 5 %	Prévue	Prévue + 5 %	
131	138	145	5800	6100	6400	8

Mise en tension

Toron n° : 1				Toron n° :			
Pression au manomètre	Extrémité : Amont			Pression au manomètre	Extrémité :		
	Allongement L (mm)	Δ L (mm)	Σ Δ L (mm)		Allongement L (mm)	Δ L (mm)	Σ Δ L (mm)
1000	59						
6100	175	116	116				
	+ allongement initial	23	139		+ allongement initial		
Glissement à l'ancrage		9 (mm) ← 175 – 163 – 3*		**Glissement à l'ancrage**		(mm)	

Toron n° :				Toron n° :			
Pression au manomètre	Extrémité :			Pression au manomètre	Extrémité :		
	Allongement L (mm)	Δ L (mm)	Σ Δ L (mm)		Allongement L (mm)	Δ L (mm)	Σ Δ L (mm)
	+ allongement initial				+ allongement initial		
Glissement à l'ancrage		(mm)		**Glissement à l'ancrage**		(mm)	

Toron n° :				Toron n° :			
Pression au manomètre	Extrémité :			Pression au manomètre	Extrémité :		
	Allongement L (mm)	Δ L (mm)	Σ Δ L (mm)		Allongement L (mm)	Δ L (mm)	Σ Δ L (mm)
	+ allongement initial				+ allongement initial		
Glissement à l'ancrage		(mm)		**Glissement à l'ancrage**		(mm)	

Remarques

* Valeur de l'allongement du câble dans le vérin : 3 mm

Date (Année-Mois-Jour) Nom en lettres moulées Signature

Ministère des Transports

V-1889-B (2010-09)

Figure 6.3-4 Formulaire V-1889-B « Précontrainte transversale par post-tension »

Durant la mise en tension de l'armature de précontrainte, il faut s'assurer que personne ne se place derrière le vérin, ni devant l'ancrage à l'autre extrémité du tablier, au cas où surviendrait la rupture d'un toron d'un câble ou celle d'une barre de précontrainte. En effet, le contrecoup du vérin vers l'arrière et, surtout, le toron ou la barre de précontrainte qui peuvent se transformer en projectiles risquent d'occasionner de graves blessures. Des mesures strictes de sécurité doivent donc être respectées en tout temps.

Armature de précontrainte défectueuse

Il peut arriver durant la mise en tension des câbles qu'il y ait rupture d'un ou de plusieurs fils d'un toron, voire d'un toron au complet. Il est spécifié au CCDG qu'il faut remplacer un câble lorsque la réduction de la force de précontrainte, découlant de la rupture totale ou partielle d'un toron, dépasse l'une des trois valeurs suivantes :

- une réduction maximale de la force de précontrainte de 10 % par rapport à la force de précontrainte théorique de chaque câble. Par exemple, pour un câble constitué de 19 torons, la rupture d'au plus 1,9 toron ou 13 fils d'acier dans ce câble est acceptable. Il s'agit du cas que l'on rencontre le plus fréquemment, bien que cela se produise assez rarement;
- une réduction maximale de 5 % de la force de précontrainte de deux câbles adjacents;
- une réduction maximale de 2 % de la force de précontrainte totale d'une poutre ou d'une âme de caisson.

Il est essentiel de rappeler l'importance de la présence du surveillant lors de la mise en tension afin de noter toute rupture de toron; mentionnons qu'il est alors difficile de ne pas se rendre compte d'un bris étant donné le bruit produit par la rupture du toron affecté et son déplacement.

6.3.3.5 Injection du coulis dans les gaines

Le coulis assure non seulement l'adhérence des armatures tendues au béton environnant, mais surtout leur protection contre la corrosion.

Le surveillant devrait veiller à ce que le concepteur soit sur les lieux lors de l'injection du coulis, car ce dernier est la personne tout indiquée pour aider à résoudre les problèmes qui pourraient survenir lors de cette opération.

L'injection du coulis dans les gaines doit donc se faire dès que la mise en tension de l'armature de précontrainte est terminée afin de réduire les risques de corrosion. Cela signifie que l'injection du coulis doit se faire le jour même de la mise en tension de l'armature de précontrainte ou au plus tard le lendemain. Tout retard à procéder à l'injection du coulis doit être signifié au concepteur afin que celui-ci informe le surveillant des mesures à prendre.

Avant de procéder à l'injection, on devra araser l'armature de précontrainte au niveau de l'ancrage. Le surveillant doit toutefois s'assurer, avant l'arasage, qu'il a validé les mesures de mise en tension et d'allongement, car il sera impossible de corriger la mise en tension une fois l'excédent de câble coupé.

L'entrepreneur doit veiller à sceller les ancrages avant l'injection du coulis afin de rendre celle-ci possible. Dans le cas des câbles multitorons, il doit donc mettre en place les capots d'injection indiqués sur les plans d'atelier alors que, dans les autres cas, il doit sceller les ancrages au moyen de béton ou de mortier cimentaire.

L'entrepreneur doit s'assurer avant l'injection du coulis que les gaines sont propres et libres de tout débris ou d'eau. Pour ce faire, il doit nettoyer les gaines au jet d'air exempt d'huile. Après la fermeture de tous les évents et de tous les drains, sauf le dernier évent, l'air est introduit dans la gaine par l'orifice d'injection du coulis. Ce nettoyage doit être fait immédiatement ou quelques heures tout au plus avant l'injection du coulis afin de s'assurer que ni eau ni débris ne se retrouvent à nouveau dans les gaines.

Comme cela est mentionné à l'article 15.4.3.8.5 « Dalle épaisse, tablier en béton précontraint en place et portique » du CCDG, l'entrepreneur ne doit pas procéder à l'injection du coulis dans les gaines si la température du béton environnant est inférieure à 5 ºC ou s'il est possible qu'elle chute sous 5 ºC dans les 48 heures suivant l'injection. Le surveillant ne doit pas se préoccuper de cette exigence du CCDG si une protection de type 4 est utilisée lors du bétonnage par temps froid du tablier. Si une protection de type 4 n'est pas en place et qu'il fait exceptionnellement froid, il est tout de même fort probable que la température du béton soit au-dessus de 5 ºC si la mise en tension est réalisée aussitôt que le béton a atteint la résistance minimale apparaissant dans les plans d'atelier et que l'injection est faite dès que possible par la suite.

Le coulis d'injection doit être préparé à l'aide d'un malaxeur colloïdal et être injecté au moyen d'une pompe de type « vis sans fin » à une pression minimale de 600 kPa. Le surveillant doit noter la lecture du manomètre de la pompe dans le journal de chantier; la fréquence des lectures doit être plus élevée lorsque la pression a tendance à fluctuer.

La température et la fluidité du coulis doivent être mesurées fréquemment pour s'assurer qu'elles respectent les exigences de la norme 3901 du Ministère. La résistance à la compression du coulis doit, quant à elle, être mesurée selon les indications du CCDG; soit au moins un échantillon par quart de travail où il se fait de l'injection.

La confection du coulis doit être faite selon les spécifications du manufacturier afin qu'un mélange fluide, stable (ségrégation, ressuage) et résistant soit obtenu.

Pour ce faire, le surveillant doit s'assurer avant le début des opérations que la personne chargée du malaxeur est bien au fait des quantités d'eau et de poudre à utiliser pour chaque gâchée à effectuer (à vérifier sur la fiche technique du produit). La calibration du réservoir utilisé pour l'eau doit être vérifiée par le surveillant, lequel se doit par la suite

de suivre attentivement la confection de chaque gâchée de coulis. Puisque le surveillant doit aussi vérifier le cheminement du coulis dans chaque gaine, une personne supplémentaire doit être affectée à cette tâche.

Tous les évents et les drains d'une gaine doivent être ouverts immédiatement avant le début de l'injection du coulis, puis celle-ci doit être réalisée en une seule opération continue afin de diminuer le plus possible les poches d'air dans la gaine. S'il y a interruption de l'injection dans une gaine, le surveillant doit immédiatement communiquer avec le concepteur pour s'enquérir des dispositions à prendre.

Il existe une règle de bonne pratique qui consiste à fermer définitivement chaque évent et chaque drain après avoir constaté que le coulis qui s'y échappe s'écoule de façon régulière et avec la même consistance que celui sortant de la pompe.

Immédiatement après la fermeture du dernier évent d'une gaine, la pression d'injection doit être maintenue pendant au moins 60 secondes pour permettre le remplissage de tous les vides.

Rappelons que l'étaiement, dans le cas d'un tablier en béton précontraint par post-tension, ne doit pas être enlevé avant la mise en tension des torons et avant que le coulis injecté dans les gaines de précontrainte ait atteint une résistance de 20 MPa. En effet, la capacité de ce type de pont est presque exclusivement fournie par les torons; le coulis, quant à lui, permet l'adhérence de ceux-ci au béton environnant en plus de la protection contre la corrosion. Il est important d'obtenir la résistance de 20 MPa du coulis afin que cette adhérence soit effective lors de l'enlèvement de l'étaiement.

6.3.3.6 Arasage de l'armature de précontrainte et cachetage

Après la mise en tension de l'armature de précontrainte, la partie excédentaire de celle-ci doit être coupée à la meule afin de permettre la mise en place des capots d'injection des câbles multitorons. Cette coupe doit donc s'effectuer avant l'injection dans les gaines. Une fois l'injection terminée, la coupe des armatures de précontrainte est aussi nécessaire pour la mise en place d'une épaisseur de béton d'au moins 75 mm sur l'armature de précontrainte, que ce soit des câbles multitorons ou monotorons, ou encore des barres de précontrainte. Cette mise en place de béton consiste en fait à combler les niches construites pour la mise en place du procédé de précontrainte; cette opération doit être faite au plus tard sept jours après l'injection du coulis afin de réduire au minimum les risques de corrosion des armatures de précontrainte et des ancrages.

L'enlèvement des évents et des drains ne peut se faire qu'après la prise du coulis. Mentionnons qu'une règle de bonne pratique consiste à attendre au moins jusqu'au lendemain de l'injection avant d'enlever les évents et les drains.

Mentionnons qu'il ne faut pas utiliser du mortier pour combler les niches; cette exigence du CCDG est nécessaire compte tenu du faible niveau de durabilité de ce type de matériau.

6.4 BÉTON PRÉCONTRAINT PRÉFABRIQUÉ

La préfabrication d'éléments en béton précontraint est utilisée pour la réalisation de nombreux éléments identiques et elle est bien adaptée à la production de masse. L'élément que l'on rencontre habituellement dans les ouvrages du Ministère est la poutre NEBT (*New England Bulb-Tee*) qui peut être fabriquée selon cinq sections différentes.

La précontrainte des poutres préfabriquées peut être réalisée par prétension, par post-tension ou au moyen d'une combinaison des deux modes. Cependant, dans la pratique courante au Québec, les poutres préfabriquées sont précontraintes par prétension uniquement. Elles sont construites dans une usine permanente ou dans une usine provisoire près du site des travaux, selon les exigences du devis spécial; cette dernière possibilité, qui ne s'est pas produite depuis plusieurs années, n'arrive que lorsque la longueur et la masse des éléments fabriqués excèdent les limites du permis spécial de circulation.

En ce qui concerne la précontrainte réalisée par post-tension, les informations se trouvent à la partie 6.3 « Béton précontraint en place » du présent chapitre.

6.4.1 Documents requis

L'entrepreneur doit fournir au surveillant, au moins deux semaines avant la réunion préalable, les plans d'atelier et la note de calcul de la précontrainte; ce dernier document n'est requis que lorsque les détails de précontrainte ne sont pas indiqués dans les plans.

De plus, l'entrepreneur doit aussi fournir tous les documents demandés dans le CCDG, notamment :

- les certificats de qualification de l'usine, des soudeurs et du technicien chargé des essais sur le béton frais;
- les certificats d'étalonnage de la presse à béton utilisée à l'usine et des vérins, des pompes et des manomètres;
- le nom de l'aciérie pour l'armature et l'attestation de conformité pour l'armature de précontrainte, la fiche descriptive acceptée du béton et la formule de mélange du mortier cimentaire qu'il se propose d'utiliser pour le cachetage des bouts de poutres et pour la correction des défauts mineurs;
- la procédure de précontrainte et l'ordre de coupe des torons;
- la liste des personnes affectées à la fabrication et leur qualification;
- le plan de montage des poutres. Ce plan doit inclure la description les contreventements et des ouvrages temporaires nécessaires pour résister aux efforts pendant le montage.

Approbation des documents

Les plans d'atelier et le plan de montage doivent être signés et scellés par un ingénieur; dans le cas de la note de calcul de la précontrainte, de la procédure de la précontrainte et de l'ordre de coupe des torons, ces documents doivent être signés par un ingénieur.

L'entrepreneur doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG pour la remise de ces documents, y compris le délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour étudier les plans et le nombre minimal de copies à fournir selon le format ISO A1.

Tous les documents requis doivent être remis au surveillant deux semaines avant la réunion préalable à la fabrication pour qu'ils puissent être analysés, modifiés au besoin par l'entrepreneur et visés par le concepteur lorsque requis avant la tenue de cette réunion. Le surveillant doit reporter cette dernière si ces documents ne sont pas encore tous visés; cette façon de faire permet de s'assurer d'avoir tous les documents valides nécessaires pour la fabrication.

Les certificats d'étalonnage devraient être délivrés par un laboratoire spécialisé et être datés de moins de 12 mois pour la presse à béton et de moins de 6 mois pour les autres équipements. Dans ce dernier cas, ces exigences du CCDG s'imposent afin de disposer d'équipements ayant une précision suffisante pour obtenir la force de précontrainte désirée.

Le surveillant doit faire viser par le concepteur les plans d'atelier, la note de calcul, la procédure de précontrainte et l'ordre de coupe des torons; les documents visés sont ensuite retournés au surveillant. Le visa est un acte par lequel le concepteur reconnaît que le plan est conforme dans ses grandes lignes aux documents contractuels. L'entrepreneur conserve cependant l'entière responsabilité de l'exactitude des détails, des dimensions et des quantités. La figure 7.1-1 du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » du présent manuel montre l'estampe type utilisée à titre de visa.

Il en est de même pour le plan de montage même si ce dernier n'a pas à être visé par le concepteur ou par le surveillant puisqu'il concerne des ouvrages temporaires. Par contre, le surveillant doit le vérifier de façon à s'assurer que les ouvrages qui y sont décrits semblent convenir aux fins spécifiées au CCDG et qu'ils correspondent bien aux travaux à réaliser. S'il juge que ce n'est pas le cas, il doit faire les interventions qu'il croit nécessaires auprès de l'entrepreneur. Il doit de plus s'assurer que le plan est signé et scellé par un ingénieur. Mentionnons qu'un plan adéquat inclut, pour chaque travée, au moins les points suivants :

- retenue latérale
  - de la première poutre posée au moyen d'un dispositif relié aux unités de fondation;
  - de chaque poutre suivante au moyen de contreventements en forme de X reliés à la poutre précédente;

- retenue longitudinale
  - de chaque poutre posée au moyen d'un dispositif relié aux unités de fondation.

Mentionnons que la retenue longitudinale des poutres d'une travée n'est généralement pas nécessaire lorsqu'une extrémité des poutres repose sur des appareils d'appui, fixes ou mobiles, à élastomère fretté sans éléments glissants. Il peut arriver qu'une retenue longitudinale soit nécessaire lorsque ces appareils sont mobiles.

- localisation correcte des contreventements temporaires
  - de chaque poutre. Il est nécessaire que les contreventements temporaires ne soient pas en conflit avec l'emplacement des diaphragmes permanents puisqu'ils doivent demeurer en place jusqu'à ce que le béton des diaphragmes ait une résistance d'au moins 10 MPa.

Précisons que, généralement, des ferrures sont coulées dans les poutres pour y fixer les contreventements temporaires. La localisation des contreventements temporaires est donc déterminée par la position de ces ferrures.

6.4.2 Exigences de conception

Les plans de soumission stipulent généralement le nombre de torons droits et relevés. Cependant, il arrive que l'entrepreneur propose un nombre différent de torons, généralement à la baisse. Dans ce cas, il est mentionné au CCDG que la conception doit être faite selon les exigences de la norme CAN/CSA-S6.

Si cette situation survient, le surveillant doit s'assurer que le concepteur a accepté ces changements par le biais des plans d'atelier.

6.4.3 Usine

La température ambiante à l'intérieur de l'usine ne doit pas être inférieure à 10 °C durant toutes les étapes de fabrication des poutres afin que la mise en place et la cure du béton se fassent adéquatement.

6.4.4 Fabrication des poutres

Le bétonnage nécessaire pour la fabrication des poutres n'est pas couvert pour l'instant dans le présent manuel compte tenu de la présence d'une personne qualifiée dans l'usine, soit le représentant du surveillant mentionné à la partie 6.4.4.1 « Réunion préalable » de ce chapitre.

Mentionnons tout de même que les exigences concernant la température maximale du béton durant la cure accélérée et celle d'entreposage sont décrites à l'article 15.4.3.5.10 « Cure des éléments en béton préfabriqués » du CCDG.

Le surveillant doit rejeter une poutre lorsque la température mesurée du béton durant la cure excède 70 °C (60 + 10), car au-delà de cette température, des problèmes importants liés à l'apparition de l'ettringite peuvent réduire considérablement la durée de vie de l'élément. Les fabricants sont cependant bien au fait de cette problématique.

6.4.4.1 Réunion préalable

Une réunion préalable à la fabrication des poutres, regroupant les représentants de l'entrepreneur, du fabricant et du Ministère, doit être tenue dans les locaux de l'usine du fabricant au moins sept jours avant le début de la fabrication. Comme mentionné précédemment, cette réunion n'a lieu qu'après qu'un délai de deux semaines s'est écoulé depuis la remise des documents requis décrits au CCDG et qu'après que ces derniers ne soient visés par le concepteur. Ces exigences du CCDG sont nécessaires, car le but de la réunion est de parler de la fabrication des poutres et non pas du contenu des documents requis; de plus, cette façon de faire nous assure d'avoir tous les documents valides lors du début de la fabrication.

Si la fabrication des poutres est suspendue pour une période de plus de trois mois, une nouvelle réunion préalable doit être convoquée par le surveillant, car plusieurs changements peuvent s'être produits depuis la suspension, notamment au niveau des intervenants qu'au niveau des matériaux.

Le surveillant doit aussi remplir par la même occasion le formulaire F309.1_NEBT « Poutres préfabriquées en béton précontraint par prétension de type NEBT (projet) »; ce formulaire, qui constitue un bon résumé des documents remis, est utilisé par le représentant du surveillant en usine lors de la fabrication. Mentionnons immédiatement que le représentant du surveillant dans l'usine doit remplir pour chaque poutre le formulaire F309.2_NEBT « Poutres préfabriquées en béton précontraint par prétension de type NEBT (poutre) ». Ce formulaire, qui comprend trois feuillets, contient notamment les informations relatives à la mise en place des matériaux, à la mise en tension des torons, à l'application de la précontrainte, aux tolérances dimensionnelles et aux corrections de surface. Ce formulaire, qui est rempli à la main, n'a pas à être retranscrit au propre pourvu qu'il soit rempli avec suffisamment de clarté. Les deux formulaires sont accessibles sur le site Internet du Ministère. Des copies de ces formulaires une fois remplis doivent être transmises aux différents intervenants désignés sur le formulaire F309.2_NEBT. Cet envoi est habituellement effectué par le laboratoire pour qui travaille le représentant du surveillant.

Afin que le surveillant soit au courant de ce qui se passe dans l'usine, son représentant dans l'usine, qui provient du laboratoire mandaté par la direction générale territoriale du lieu d'emplacement de l'usine, doit lui faire parvenir au plus tard 24 heures après le bétonnage de chaque poutre, le formulaire F309.2_NEBT.

Le surveillant se doit d'inviter à la réunion le concepteur, les représentants du laboratoire (technicien et ingénieur responsable) mandatés pour le suivi des travaux dans l'usine et, s'il y a lieu, le représentant de la direction générale territoriale du lieu d'emplacement de l'usine lorsque la fabrication se fait en dehors des limites de la direction générale territoriale du surveillant. La présence du représentant de la direction générale territoriale du lieu d'emplacement de l'usine est importante, car c'est lui qui mandate le représentant du surveillant à l'usine; cette façon de faire, en vigueur depuis de nombreuses années déjà, a permis d'augmenter substantiellement la qualité des poutres. En effet, compte tenu du nombre peu élevé de poutres à fabriquer chaque année dans chacune des directions générales territoriales, il est impossible que chaque direction générale territoriale développe l'expertise nécessaire dans ce sens. Le représentant du laboratoire, qui provient généralement d'un laboratoire local, représente le surveillant dans l'usine. Afin que le représentant du surveillant soit mandaté à temps, le surveillant doit communiquer le plus tôt possible avec la direction générale territoriale du lieu d'emplacement de l'usine.

Afin d'éviter de mobiliser des ressources en permanence dans l'usine, le fabricant est tenu d'aviser le surveillant – dans les faits, c'est plutôt le représentant du surveillant dans l'usine qui est avisé – de la date précise du début de la fabrication, et de le prévenir également avant la mise en tension des torons, le bétonnage et l'application de la précontrainte.

6.4.4.2 Coffrages

Les coffrages utilisés pour la fabrication des poutres ne sont pas traités pour l'instant dans le présent manuel compte tenu de la présence d'une personne qualifiée dans l'usine, soit le représentant du surveillant mentionné à la partie 6.4.4.1 « Réunion préalable » de ce chapitre.

6.4.4.3 Armatures et torons

Les armatures et les torons, incluant les notions relatives aux torons défectueux, nécessaires pour la fabrication des poutres ne sont pas couverts pour l'instant dans le présent manuel compte tenu de la présence d'une personne qualifiée dans l'usine, soit le représentant du surveillant mentionné à la partie 6.4.4.1 « Réunion préalable » de ce chapitre.

Mentionnons cependant que tout comme pour les éléments coulés en place (référence section « Armatures » du chapitre 4, « Mise en place des armatures – avis de conformité »), un avis de conformité est exigé avant de fermer les coffrages et de couler le béton dans les éléments précontraints comme les poutres. L'inspection par l'ingénieur qui signe l'avis doit s'effectuer après la mise en place de l'armature et donc après la mise en tension de l'armature de précontrainte. Cette exigence est importante, car la mise en tension de l'armature de précontrainte peut déplacer les armatures passives et affecter leur recouvrement. L'avis est remis au représentant du surveillant

en usine. Le formulaire F 311.2 doit être utilisé pour cet avis. Ce dernier est normalement annexé au devis et est également disponible sur le site Internet du Ministère.

Précisons aussi que tout comme le béton précontraint en place, la mise en tension d'un toron est jugée conforme lorsque les mesures de pression au manomètre et d'allongement se situent à l'intérieur d'un écart de ± 5 % par rapport aux valeurs indiquées dans la procédure de précontrainte. La pression au manomètre appliquée ne doit pas excéder l'écart de « + 5 % » indiqué dans la procédure de précontrainte. Si celle-ci dépassait cet écart, le surveillant doit arrêter la mise en tension. Il doit communiquer avec le concepteur pour la suite des opérations, le remplacement du toron pourrait même être envisagé. Le surveillant se doit d'être vigilant lors de la mise en tension, car la tension prévue est près de la limite d'élasticité du toron.

6.4.4.4 Application de la précontrainte

L'application de la précontrainte nécessaire pour la fabrication des poutres n'est pas couverte dans le présent manuel, compte tenu de la présence d'une personne qualifiée dans l'usine, soit le représentant du surveillant mentionné à la partie 6.4.4.1 « Réunion préalable » de ce chapitre.

Mentionnons que la mise en tension se fait un toron à la fois, à une seule extrémité de la poutre, sauf dans certains cas pour les torons relevés lorsqu'il n'est pas possible de respecter la procédure de précontrainte. Cela arrive généralement lorsque le banc de précontrainte contient plus d'une poutre; il faut alors déplacer le vérin pour effectuer la mise en tension à l'autre extrémité du banc afin de compenser les pertes par friction.

6.4.4.5 Tolérances dimensionnelles

Les poutres préfabriquées doivent respecter les tolérances de fabrication stipulées dans le CCDG concernant la longueur totale, la déviation latérale et la pente des surfaces d'appui; cette dernière exigence ne s'applique que si les appareils d'appui sont de type élastomère fretté. La résistance, la stabilité et l'apparence de l'ouvrage peuvent être compromises lorsque les poutres ne respectent pas les tolérances prescrites.

La mesure de la longueur des poutres devrait se faire au niveau de la semelle inférieure afin de s'assurer d'une longueur adéquate vis-à-vis des appareils d'appui. La mesure de la pente des surfaces d'appui se fait uniquement lorsqu'un soufflage est ajouté à ces endroits sur le plancher du banc de précontrainte pour tenir compte du profil longitudinal du pont; la vérification se fait en mesurant les hauteurs minimale et maximale du vide créé par le soufflage. La mesure de la déviation latérale s'effectue au moyen d'une corde tendue entre les extrémités de la poutre.

Le surveillant doit, le cas échéant, faire valider par le concepteur la procédure de correction proposée par le fabricant pour rectifier la pente des surfaces d'appui et la déviation latérale. Dans ce dernier cas, le fabricant doit aussi fournir au surveillant une

procédure détaillée et une note de calcul lorsque la déviation excède 0,1 % de la longueur de la poutre. Ces documents doivent être transmis au concepteur pour analyse.

6.4.4.6 Correction et fini des surfaces

Le surveillant, ou son représentant à l'usine, doit analyser les documents relatifs à l'assurance qualité des matériaux utilisés, inspecter les poutres et faire corriger les défauts relevés avant la livraison au chantier. Les principaux défauts que l'on peut observer sont :

- la fissuration;
- l'enrobage de béton insuffisant au-dessus des armatures;
- la longueur inadéquate des poutres;
- les aspérités, cratères et nids de cailloux;
- l'éclatement;
- le cachetage inadéquat des bouts des poutres ou des trous laissés par l'enlèvement de la tige de retenue des déviateurs;
- le traitement inadéquat des surfaces des appuis permanents.

Bien qu'il puisse se développer quelques fissures verticales lors de la cure du béton, le nombre de ces fissures est soit très bas, soit nul si les exigences du CCDG concernant le délai d'application de la précontrainte sont respectées. Ces fissures se referment lors de l'application de la précontrainte. Il faut cependant noter qu'une certaine fissuration horizontale ou inclinée apparaît régulièrement, lors de l'application de la précontrainte, vis-à-vis de l'âme des extrémités des poutres en raison de la différence de précontrainte élevée entre le haut et le bas de la poutre; cette fissuration est considérée comme normale. Par contre, mentionnons que, contrairement aux exigences du CCDG, si les coffrages ne sont pas enlevés sur les deux côtés de la poutre avant la mise en tension des torons, il peut arriver que des fissures se produisent aux extrémités de la semelle supérieure d'où l'importance de faire respecter ces exigences.

L'enrobage de béton au-dessus des armatures est mesuré immédiatement après l'application de la précontrainte au moyen d'un pachomètre; ces mesures sont prises en continu selon les lignes longitudinales apparaissant sur le formulaire F309.2_NEBT. Les non-conformités à ce niveau sont rares lorsque les exigences du CCDG sont respectées; dans les faits, il arrive la plupart du temps qu'il n'y ait aucune non-conformité, mais il peut arriver qu'une poutre ait un nombre élevé de non-conformités. La pratique actuelle veut que la poutre soit jugée défectueuse selon l'article 7.10 du CCDG lorsque les défauts excèdent les tolérances permises à la norme 23.4 pour le recouvrement (8 mm en général). Le concepteur et le responsable du Ministère doivent alors être consultés afin de déterminer les méthodes correctrices à appliquer ou confirmer le rejet de la poutre. Il est important de procéder rapidement au relevé de

l'épaisseur de l'enrobage afin d'apporter le plus vite possible les correctifs nécessaires lors de la fabrication des poutres subséquentes. Le surveillant se doit également de consulter le concepteur lorsque plusieurs non-conformités sont décelées sur une poutre, si des défauts mineurs mais récurrents sur plusieurs poutres d'un même contrat ou si des défauts importants sur une poutre sont observés.

La longueur des poutres est mesurée peu de temps après l'application de la précontrainte. La mesure est effectuée selon la corde formée par les extrémités inférieures de la poutre et la cambrure de celle-ci. Il n'est pas inutile de rappeler que le respect des tolérances mentionnées au CCDG concernant la longueur des poutres est très important étant donné que celles-ci sont déposées sur des appareils d'appui qui sont eux-mêmes localisés selon les exigences des plans et devis.

La réparation d'éléments défectueux ou endommagés doit être effectuée avec des matériaux et une mise en œuvre qui permettront à l'élément de retrouver la qualité exigée dans les documents contractuels autant en matière de résistance et de durabilité que du point de vue de l'esthétique. Les réparations sont définies selon deux catégories dans la norme CSA A23.4 : les réparations mineures et les réparations majeures. Mentionnons que les réparations mineures, qui sont importantes quant à la durabilité et à l'esthétique des poutres, ne sont pas moins essentielles que les réparations majeures.

Les réparations mineures concernent les aspérités, les cratères et les nids de cailloux mineurs, c'est-à-dire correspondants à des défauts de surface ayant de 6 à 12 mm de profondeur. La procédure de réparation est décrite à la partie 4.3.5.11 « Inspection, correction et nettoyage des surfaces » du chapitre 4 « Ouvrages en béton » du présent manuel. Les réparations mineures sont souvent peu fréquentes, car les exigences du CCDG concernant notamment la doublure de coffrage et la retenue des coffrages à la base éliminent les sources principales de vides à la surface du béton.

Les réparations majeures concernent notamment les cratères et les nids de cailloux ayant une profondeur de plus de 12 mm, la fissuration de la poutre (autre que celle décrite au second paragraphe de la présente section) et l'éclatement du béton à la suite d'une manutention inadéquate notamment. Ces réparations sont considérées comme majeures à cause de leur impact important sur la résistance et la durabilité. Le surveillant doit faire approuver par le concepteur la méthode de réparation proposée par le fabricant. Dans certains cas, la poutre peut être rejetée si les défauts de fabrication sont jugés trop importants.

Le cachetage des bouts des poutres et des trous laissés par l'enlèvement de la tige de retenue des déviateurs ainsi que le traitement des surfaces des appuis permanents jugés inadéquats ou inesthétiques doivent être refaits à la satisfaction du surveillant. Mentionnons que le cachetage est important pour protéger les torons contre la corrosion. Les torons aux extrémités des poutres doivent être coupés à une profondeur minimale de 20 mm de la surface et le nettoyage des surfaces au jet d'abrasif humide ou au jet d'eau haute pression doit être fait avant de procéder au cachetage. Ce nettoyage doit aussi faire disparaître toute trace de graisse.

Les exigences du CCDG concernant la pose du mortier 24 heures avant de procéder au transport des poutres s'imposent afin de permettre au représentant du surveillant de vérifier l'adhérence du mortier étant donné que cette dernière ne peut se faire qu'une fois le mortier durci. Cette façon de faire permet de corriger d'éventuels défauts avant de procéder au transport.

Le traitement des surfaces d'appui est important, et il doit être réalisé lorsque des appareils d'appui en élastomère sont utilisés, pour obtenir une surface de béton rugueuse.

Il faut mentionner que les fabricants ont un code interne (ronds de couleur ou autre) permettant d'identifier les différentes phases de correction de chaque poutre; la connaissance de ce code par le représentant du surveillant dans l'usine permet de suivre beaucoup plus facilement les opérations du fabricant.

6.4.5 Manutention et entreposage

Dès que le transfert de la précontrainte est terminé, la poutre peut être déplacée de manière à libérer les coffrages et à procéder à la fabrication d'une nouvelle poutre. Les poutres sont sujettes dès lors, et jusqu'à leur mise en place définitive dans l'ouvrage, à de nombreuses manutentions d'autant plus délicates que les poutres sont des éléments lourds ayant un gabarit imposant.

Bien que les fabricants procèdent à la manutention chacun à leur façon, toutes les précautions doivent être prises pour garantir la stabilité des poutres contre le déversement ou le basculement et pour limiter les effets dynamiques susceptibles de les affecter. Les poutres doivent donc être soulevées verticalement par les crochets de levage installés à leurs extrémités de manière à éviter la torsion de la poutre ainsi que l'éclatement ou la fissuration du béton.

Lors de l'entreposage, à l'usine ou au chantier, les poutres doivent être maintenues en tout temps en position verticale sur deux supports rigides parfaitement de niveau pour éviter les tassements différentiels et le déversement des poutres. Il est important d'éviter un contact béton/béton, qui peut entraîner l'éclatement des arêtes des poutres, en prévoyant un support de bois. Étant donné que la fibre inférieure des poutres est très comprimée, l'emplacement des appuis provisoires doit être aussi près que possible des appuis permanents. Idéalement, ce devrait être sur la surface d'appui de la poutre ou tout au plus à une distance n'excédant pas la hauteur de celle-ci, afin de diminuer le plus possible le gain de cambrure et surtout, d'éviter des contraintes excessives dans la partie supérieure des poutres qui pourraient entraîner l'apparition de fissures. Il est important de répéter que ces fissures sont à éviter pour conserver l'intégrité de l'ouvrage.

La durée de l'entreposage doit être la plus courte possible afin que le problème de gain de cambrure ne soit pas accentué, lequel est accéléré par l'absence de poids important sur les poutres lors de l'entreposage.

Mentionnons que ce gain de cambrure est toujours nuisible pour la construction de la dalle et surtout, celle de la route attenante, puisque cette dernière doit être relevée d'une valeur équivalente à l'excès de cambrure; la mise à niveau de la route est parfois très coûteuse lorsque le profil de celle-ci est plat.

Le calendrier de fabrication devrait donc être établi de telle sorte que la durée d'entreposage n'excède pas trois semaines. Si le délai entre l'application de la précontrainte d'une poutre et le bétonnage de la dalle sur celle-ci excède 60 jours, la poutre doit être chargée au moyen de blocs de béton répartis de manière à reproduire la charge de la dalle. Le surveillant peut transmettre au concepteur le plan de chargement proposé afin d'obtenir ses commentaires. Le transport des poutres ne devrait être autorisé que lorsqu'il est possible de les déposer sur leurs appuis permanents dès leur arrivée au chantier; il faut donc éviter d'autoriser le transport des poutres au chantier alors que l'entrepreneur n'est pas prêt à court terme à les mettre en place et à procéder sans délai au coffrage et au bétonnage de la dalle. Ce point est très important, car les poutres ne sont pas souvent chargées au chantier, puisque cela n'est pas évident à faire, car les blocs de béton normalement utilisés pour le chargement sont à l'usine de préfabrication. De plus, si les poutres sont à leur emplacement final, il peut être dangereux de procéder à leur chargement si elles sont au-dessus d'une route ou d'une voie ferrée. Mentionnons que, si le délai entre l'application de la précontrainte d'une poutre et le bétonnage de la dalle sur celle-ci excède 60 jours, la cambrure des poutres va dépasser les valeurs prévues et, par conséquent, le dessus de la dalle sera plus élevé qu'anticipé, ce qui peut avoir un impact majeur sur les approches du pont.

Le surveillant ne doit pas hésiter à exiger le chargement des poutres compte tenu des conséquences structurales d'autant plus qu'un poste est prévu à cet effet sur le bordereau.

La température d'entreposage doit être maintenue au-dessus de 10 °C jusqu'à ce que le béton atteigne la résistance à la compression exigée à 28 jours, et ce, pour deux raisons. La première concerne la cure accélérée. Lorsque cette dernière est employée, le béton ne fait aucun gain additionnel de résistance si la température descend sous 10 ^{o}C même s'il y a une élévation subséquente de la température. La deuxième raison concerne la mise en service du pont en hiver. Dans ce dernier cas, le béton doit avoir la résistance à la compression exigée à 28 jours avant le bétonnage de la dalle, ce qui n'est pas possible si les poutres sont entreposées à l'extérieur avant que cette résistance soit atteinte. Les exigences relatives à la température d'entreposage sont décrites à l'article 15.4.3.5.10 « Cure des éléments en béton préfabriqués » du CCDG.

6.4.6 Transport et mise en place des poutres

Le fabricant est responsable du transport et de la mise en place des poutres au chantier. Le fabricant doit faire les démarches le plus tôt possible pour obtenir un permis spécial de la Société de l'assurance automobile du Québec (SAAQ) pour le transport des poutres. Mentionnons qu'aucun permis spécial n'est délivré durant la

période de dégel et il est alors habituel de transporter un grand nombre de poutres juste avant cette période pour permettre la poursuite des autres travaux au chantier.

Les poutres doivent être supportées et stabilisées durant le transport pour s'assurer qu'elles ne sont pas sujettes à des contraintes pour lesquelles elles ne sont pas conçues. L'arrimage des poutres sur le camion doit être particulièrement soigné afin de limiter les effets négatifs des sollicitations en torsion et les sollicitations dynamiques susceptibles d'augmenter ou surtout de diminuer les efforts dus au poids propre de l'élément. Ces sollicitations peuvent entraîner les mêmes désordres que ceux déjà mentionnés pour la manutention. Pour ce faire, il est exigé au CCDG que les poutres soient appuyées uniquement à leurs extrémités, idéalement sur la surface d'appui de la poutre ou tout au plus à une distance n'excédant pas la hauteur de la poutre.

Le surveillant doit inspecter minutieusement les poutres livrées au chantier pour détecter de possibles dommages occasionnés durant le transport. Si des dommages sont constatés, le surveillant doit faire approuver par le concepteur la méthode de réparation proposée par le fabricant. Lorsque les poutres livrées au chantier ne sont pas, de façon exceptionnelle, mises en place sur leurs appuis permanents, elles doivent être entreposées selon les exigences déjà mentionnées pour l'entreposage à l'usine.

Le plan de montage décrivant la méthode de mise en place des poutres ainsi que la localisation et la capacité du matériel utilisé fait partie des documents remis par l'entrepreneur. Ce plan doit être suivi rigoureusement par le fabricant; si ce dernier veut y apporter des modifications, il doit soumettre un nouveau plan. Le surveillant se doit d'être vigilant durant la mise en place des poutres, tout particulièrement en ce qui concerne les premières. Il ne doit pas hésiter à arrêter immédiatement les travaux si la mise en place lui semble problématique ou non conforme au plan de montage.

Mentionnons que la mise en place des poutres peut être effectuée au moyen de deux grues, ou à l'aide d'une seule grue et d'un palonnier, ou encore, avec des élingues de grande longueur. Il convient de veiller à ce que la longueur des élingues soit suffisante afin que leur angle par rapport à l'horizontale soit conforme au plan, et ce, pour ne pas augmenter indûment les efforts dans la poutre. Les équipements de manutention utilisés peuvent varier en capacité selon le site, les sols en place et le type de structure.

Une réunion préalable à la mise en place des poutres regroupant les représentants de l'entrepreneur, du fabricant et du Ministère devrait être organisée afin de s'assurer que les exigences du Ministère et les particularités du projet sont bien comprises.

Bien qu'il soit exigé au CCDG que l'emplacement et l'élévation des appareils d'appui soient vérifiés par l'entrepreneur avant que ne soit entreprise la mise en place des poutres, il est recommandé que le surveillant fasse ses propres vérifications. Les correctifs nécessaires doivent être apportés au besoin. De plus, le surveillant se doit de consulter le chapitre 9 « Équipements » du présent manuel pour obtenir les informations requises concernant les appareils d'appui avant, pendant et après la mise en place des poutres.

Le béton des blocs d'assise, ou le coulis cimentaire sous les appareils d'appui à élastomère confiné, doit avoir une résistance à la compression d'au moins 20 MPa avant la mise en place des poutres. Cette exigence du CCDG est importante pour éviter que ces éléments soient endommagés.

L'entrepreneur et le surveillant doivent s'assurer lors de la mise en place de chaque poutre qu'il y a un contact parfait entre l'appareil d'appui et la surface d'appui de la poutre; si ce n'est pas le cas, il faut relever immédiatement la poutre et trouver sur-le-champ la cause du problème avant de redéposer cette dernière.

Il est très important de mentionner que c'est durant la phase de construction, lorsque l'ouvrage est incomplet, que celui-ci est le plus vulnérable. Cette vulnérabilité est encore plus grande dans le cas de la première poutre mise en place tant qu'une deuxième poutre n'est pas à sa position finale. Il faut donc s'assurer que l'ouvrage demeure stable durant la construction. Pour ce faire, il est exigé au CCDG que l'entrepreneur fournisse dans le plan de montage les détails des contreventements et des ouvrages temporaires requis durant la construction; le surveillant peut se référer à l'article 6.4.1 « Documents requis » de ce chapitre pour plus de détails. Il est important que ces détails soient connus pour la fabrication des poutres, car il arrive souvent que des garnitures d'insertion (ferrures) pour y fixer des contreventements temporaires doivent être installées lors de la fabrication.

Il est exigé au CCDG qu'un avis écrit signé par un ingénieur, indiquant la conformité de la mise en place des contreventements et des ouvrages temporaires, soit fourni au surveillant par l'entrepreneur. Cet avis, qui doit être donné à la fin de chaque quart de travail, ne peut être donné que lorsque tous les contreventements temporaires sont en place, y compris ceux situés en travée. Cet ingénieur, qui peut être différent de celui qui a préparé le plan de montage, doit lui-même inspecter, sans délégation possible, les poutres mises en place avant de signer son avis. Cette dernière exigence est importante, car celui-ci connaît très bien le projet et il est le plus apte à détecter toute anomalie éventuelle.

Les contreventements temporaires doivent demeurer en place jusqu'à ce que le béton des diaphragmes permanents ait une résistance d'au moins 10 MPa. Cette exigence du CCDG s'impose afin de s'assurer en tout temps de la stabilité de l'ouvrage. De plus, si l'entrepreneur utilise des pièces de bois pour bloquer les poutres durant leur mise en place, principalement dans le cas d'appareils d'appui à élastomère confiné, ces pièces devraient être enlevées immédiatement après l'installation des poutres afin de permettre à ces dernières d'allonger ou de raccourcir en fonction de la température ambiante.

Mentionnons aussi que le bétonnage de la dalle ne peut pas débuter avant que le béton des diaphragmes permanents ait une résistance d'au moins 10 MPa afin d'avoir une meilleure stabilité des poutres lors du bétonnage de la dalle. Le CCDG fait, par contre, une exception à cette règle pour les diaphragmes situés aux appuis au-dessus des piles où il n'y a pas de joint de tablier. Il faut, dans ce cas, bétonner ces diaphragmes en même temps que la dalle pour éviter leur fissuration. Il y aura en effet une rotation

des poutres aux appuis de part et d'autre de ces diaphragmes lors de la coulée du béton, à cause du poids de la dalle qui est ajoutée sur les poutres. La rotation des poutres ferait donc en sorte de fissurer le diaphragme à l'appui en son centre si le béton de ce dernier était déjà durci lors de la coulée de la dalle.

Une fois les contreventements temporaires enlevés, l'entrepreneur doit combler les cavités laissées sur les poutres à l'aide d'un mortier cimentaire en sacs. Cette exigence du CCDG est importante, surtout pour les surfaces exposées comme le bas des poutres, afin de retarder le plus possible la pénétration des ions chlores vers les torons. Le surveillant peur référer à la partie 4.3.5.11 « Inspection, correction et nettoyage des surfaces » de ce manuel pour plus de détails concernant la pose du mortier, notamment sur les précautions à prendre le débordement inesthétique du mortier autour des cavités.

PHOTOGRAPHIES

PRÉCONTRAINTE



Ancrage d'une armature de précontrainte



Armature de précontrainte



Touret (armature de précontrainte)



Armature de frettage



Mise en tension des armatures de précontrainte



Malaxeur colloïdal



Précontrainte transversale de dalle



Précontrainte extérieure (renforcement)



Chargement de poutres préfabriquées



Transport d'une poutre préfabriquée



Mise en place d'une poutre préfabriquée



Contreventement temporaire

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 6 – PRÉCONTRAINTE

NOTES

Les matériaux « béton », « armature » et « mortier cimentaire en sacs » sont décrits dans le chapitre 4 « Ouvrages en béton » du présent manuel.

Vérifier l'efficacité du filtre à air du compresseur des équipements afin d'éviter de projeter de l'huile sur le béton (jet d'air ou jet d'abrasif humide).

MATÉRIAUX

Les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

- Armatures de précontrainte
  - Norme 5201 du Ministère
  - Propres, exemptes de rouille, d'huile, de saleté, de scories de laminage et de piqûres
  - Torons
    - → Exempts de rayures (manutention doit être soignée)
    - → Sensibles à la chaleur (donc pas de soudage ni de cure à vapeur près des torons, coupe à la meule uniquement)
- Gaines
  - Post-tension intérieure : gaines en tôle d'acier ondulée (non galvanisée pour précontrainte longitudinale)
  - Post-tension extérieure : gaines en P.E.H.D. (caractéristiques à transmettre au concepteur pour analyse)
  - Propres, sans rouille et sans déformation
- Coulis d'injection
  - Norme 3901 du Ministère
- Ferrures
  - En acier non galvanisé

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

- L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport.*

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

Se servir de la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées » avant d'accepter un produit. Cette liste est disponible sur le site Internet du Ministère.

- Certification de l'usine (poutres NEBT)
  - CAN/CSA-A23.4 (voir article 15.4.2.1.2 du CCDG), par l'institut canadien du béton préfabriqué précontraint
- Béton
  - Usine certifiée BNQ si le béton est livré à l'usine de fabrication des éléments
- Torons
  - Attestation de conformité à obtenir
  - Contrôle de réception : pas nécessaire si fournisseur est mentionné dans le tableau de la section 6.2
- Câbles
  - Si torons proviennent de plusieurs lots de production : propriété mécanique (limite élastique, résistance ultime, et module d'élasticité) diffèrent de moins de 1,5 % entre eux
  - Câbles fabriqués hors chantier : étiquetage (numéro selon plans d'atelier, numéro de lots de production et nombre de torons par lot de production)
  - Si contrôle de réception : l'entrepreneur doit remplacer les torons où il y a eu prélèvement
- Coulis d'injection
  - Contrôle de réception : 1 par quart de travail (résistance à la compression)

BÉTON PRÉCONTRAINT EN PLACE

Documents requis

- Plans d'atelier et note de calcul de la précontrainte
  - Signés et scellés par un ingénieur, vérifiés par un second ingénieur
  - Visés par le concepteur
- Autres documents
  - Documents : voir manuel
  - L'entrepreneur doit les fournir au moins 2 semaines avant la mise en tension
  - À transmettre au concepteur pour analyse et approbation
    → Procédure de précontrainte : signée par un ingénieur et à viser par le concepteur

Exigences de conception

- Procédé de précontrainte par post-tension
  - Approuvé par la Direction générale des structures du Ministère
  - Entreprise spécialisée (BBR ou Dywidag), sauf pour projet de peu d'envergure où l'entreprise spécialisée agit en appui
  - Note de calcul
    → Avant de préparer la note de calcul, l'entrepreneur doit fournir les caractéristiques du procédé (à transmettre au concepteur pour approbation)

Mise en œuvre

- Entrepreneur avise surveillant pour : insertion de l'armature de précontrainte, mise en tension et injection de coulis

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Gaines pour précontrainte intérieure
  - Selon les profils des plans d'atelier (6 mm sauf pour précontrainte transversale : 3 mm)
  - À fixer solidement (supports à moins de 600 mm c/c)
  - Raccordements : manchons étanches
  - Vérifier que les évents, les drains et valves sont bien en place (pas à l'intérieur des chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables ou glissières et installés de façon rectiligne près de la verticale)
  - Prendre dispositions pour empêcher l'eau et débris de s'infiltrer dans les gaines
- Gaines pour précontrainte extérieure
  - Selon les profils des plans d'atelier (6 mm)
  - Ne pas percer les gaines lorsque l'armature de précontrainte est à l'intérieur
  - Vérifier positionnement et construction des blocs d'ancrage, déviateurs et supports intermédiaires (voir plans de soumission et plans d'atelier)
  - Vérifier positionnement et construction des supports temporaires et des manchons de dilatation (voir plans d'atelier)
  - Vérifier que les évents, les drains et valves sont bien en place
  - Prendre dispositions pour empêcher l'eau et débris de s'infiltrer dans les gaines
  - Autres informations pour la précontrainte extérieure
    - → Bloc d'ancrage sur structure existante avec poutres de béton précontraint
      - Ne pas endommager les torons de la poutre
    - → Déviateurs
      - Extrémités des déviateurs : perpendiculaire à armature de précontrainte
- Mise en place de l'armature de précontrainte et des ancrages
  - Vérifier les pièces du procédé de précontrainte, les équipements et les matériaux
    - → À leur arrivée sur le chantier
    - → Armature de précontrainte : vérifier les étiquettes des tourets ou des câbles
  - Insertion des torons
    - → par tirage et avant le bétonnage des éléments
    - → coupe à la meule uniquement
  - Ancrages de la précontrainte
    - → Perpendiculaire à l'armature de précontrainte
    - → Distance minimale de 500 mm rectiligne près des ancrages (sinon consulter concepteur)
    - → À fixer solidement aux coffrages
    - → Niches selon plans d'atelier
    - → Armature de frettage selon plans d'atelier
  - Protection
    - → Empêcher l'eau (pluie et de cure) de venir en contact avec les torons
    - → Empêcher l'eau et les débris de s'infiltrer dans les gaines
    - → Utiliser pellicules de polyéthylène et détourner eau de cure

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Bétonnage
  - Selon le chapitre 4 du présent manuel
  - Avant bétonnage
    → Inspecter les gaines et faire remplacer celles déformées (voilement de la paroi), consulter concepteur
    → Vérifier qu'il n'y a aucune attache de coffrages à l'intérieur des éléments à bétonner (voir article 15.4.3.1.3 du CCDG) et que l'étaiement est conforme (voir article 15.4.3.2 du CCDG)
  - Pendant bétonnage
    → Ne pas endommager les gaines (pas de déversement direct de béton)
    → Vibration très soignée près des ancrages
  - Après le bétonnage
    → Vérifier que l'enlèvement des plaques de retenue des appareils à élastomère confiné se fasse correctement (voir chapitre 9 de ce manuel)
- Mise en tension de l'armature de précontrainte
  - Avant la mise en tension
    → Dès que le béton a atteint la résistance minimale (voir plans d'atelier) selon cylindres témoins
    → Vérifier au préalable qu'il n'y a pas de nids de cailloux près des ancrages
  - Durant la mise en tension
    → Concepteur doit être présent sur le chantier
    → Tendre d'abord les câbles transversaux
    → Tendre selon plans d'atelier et procédure de précontrainte
    → À chaque extrémité (avec deux vérins : façon simultanée ou avec un seul vérin : façon non simultanée ou *lift off*)
    → Tension appliquée
      - Ne pas se tenir derrière le vérin (sécurité)
      - Mesurer selon la pression au manomètre
      - Vérifier selon l'allongement de l'armature (précision : 2 mm max.)
      - Mesure de démarrage : voir procédure de précontrainte
      - Jugée conforme si la pression au manomètre et l'allongement est à l'intérieur de l'écart de ± 5 % de la valeur de la procédure de précontrainte. Si la pression au manomètre dépasse l'écart de « + 5 %» lors de la mise en tension, référer au concepteur
      - Mesurer le glissement à l'ancrage au relâchement de la tension
        - Mesure prise à l'arrière du vérin, soustraire le raccourcissement élastique du câble à l'intérieur du vérin
        - Vérifier par rapport à la valeur des plans d'atelier : écart permis de ± 2 mm
      - Remplir les formulaires V-1889-A et V-1889-B
  - Si rupture d'un toron ou de fils d'un toron lors de la mise en tension : voir CCDG
  - Araser les câbles lorsque mise en tension terminée et que conformité établie
- Injection du coulis
  - Dès que la mise en tension est terminée (jour même ou lendemain)
    → Si pas de protection de type 4 et que la température est susceptible de descendre sous 5 °C, évacuer de façon répétée l'eau stagnante dans les gaines

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Avant l'injection
  → Sceller les ancrages
    - Câbles multitorons : mettre capots d'injection
    - Autres armatures : sceller avec béton ou mortier
  → Nettoyer les gaines (enlever eau et débris)
    - Immédiatement avant l'injection
    - Fermer tous les évents et tous les drains sauf le dernier évent
    - Au moyen d'un jet d'air (sans huile)
- T° béton > 5 °C (pendant l'injection et 48 heures après) : article 15.4.3.8.5 du CCDG.
- Coulis d'injection
  → Concepteur devrait être présent sur le chantier
  → Préparé avec un malaxeur colloïdal (pression min. : 600 kPa, 1 500 rpm)
  → T° et fluidité mesurées fréquemment
  → Calibration du réservoir d'eau à vérifier
  → Vérifier confection de chaque gâchée (volume d'eau par sac)
  → Ouvrir tous les évents et tous les drains avant de commencer à injecter
  → Injecter en une seule opération continue
  → Fermer les évents et les drains au fur et à mesure de la progression du coulis dans la gaine
  → Fermer le dernier évent lorsque coulis sort régulièrement et sans dilution
  → Après la fermeture du dernier évent : maintenir la pression pendant 60 sec.
- Enlèvement de l'étaiement : pas avant que le coulis n'atteigne 20 MPa

– Arasage de l'armature de précontrainte et cachetage
  - Enlèvement des évents et des drains
    → Après la prise du coulis (normalement le lendemain de l'injection)
    → Tubes d'injection à couper 25 mm sous surfaces de béton, boucher avec mortier
  - Arasage des câbles
    → Après la mise en tension
    → Utiliser une meule
  - Cachetage
    → Remplir les niches (au moins 75 mm de béton)
    → À faire au plus tard 7 jours après l'injection du coulis

BÉTON PRÉCONTRAINT PRÉFABRIQUÉ

– Si précontrainte réalisée par post-tension : se référer au « Béton précontraint en place »
– Aviser dès que possible le représentant de la DT du lieu de l'usine pour suivi de la fabrication

Documents requis

– À fournir 2 semaines avant la réunion préalable
– Plans d'atelier et note de calcul de la précontrainte
  - Signés et scellés par un ingénieur
  - Visés par le concepteur

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Autres documents
  - Documents : voir CCDG et le texte de ce chapitre
    → Procédure de précontrainte, ordre de coupe des torons et le plan de montage : signés et scellés par un ingénieur
    → Procédure de précontrainte et ordre de coupe des torons : à viser par le concepteur
    → Plan de montage : doit inclure les contreventements et les ouvrages provisoires

Exigences de conception

- Plans d'atelier doivent être visés par le concepteur; tout changement dans le nombre ou la position des torons doit être accepté par le concepteur

Usine

- T° ambiante dans usine > 10 °C
- Éclairage suffisant

Fabrication des poutres

- Réunion préalable
  - À tenir au moins 7 jours avant la fabrication (et après 2 semaines suivant la remise des documents requis et que le concepteur ait visé tous les documents)
  - À l'usine de fabrication
  - Remplir le formulaire F309.1_NEBT
  - Personnes à inviter : Représentant de l'entrepreneur, du fabricant, concepteur, représentants (technicien et ingénieur responsable) du laboratoire mandaté pour le suivi en usine, représentant de la direction générale territoriale du lieu de l'usine (note : le surveillant doit aussi assister à cette réunion)
  - Refaire une nouvelle réunion préalable s'il y a suspension de la fabrication pour plus de 3 mois
- Coffrages
  - Garnitures d'insertion et les tuyaux servant à fixer les contreventements temporaires et les diaphragmes permanents : enrobage de 40 mm
- Armatures et torons
  - Avis de conformité signé par l'ingénieur du fabricant, après mise en tension des armatures et avant bétonnage (formulaire F311.2)
  - Mise en tension d'un toron
    → Jugée conforme si la pression au manomètre et l'allongement sont à l'intérieur de l'écart de « ± 5 %» de la valeur indiquée dans la procédure de précontrainte. Si la pression au manomètre dépasse l'écart de « + 5 %» lors de la mise en tension, communiquer avec le concepteur
    → Mesurer le glissement à l'ancrage sur 3 torons par poutre (vérifier par rapport à la valeur indiquée dans les plans d'atelier, écart permis : ± 2 mm)
    → Si rupture d'un toron ou de fils d'un toron lors de la mise en tension : voir CCDG
- Divers
  - L'entrepreneur doit aviser de la date précise du début de la fabrication
  - Le représentant du surveillant à l'usine remplit le formulaire F309.2_NEBT pour chaque poutre

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Bétonnage
  → Cure : voir l'article 15.4.3.5.10 du CCDG
  → Si T° du béton durant la cure > 70 °C : rejeter la poutre
  → Aucun joint de construction n'est permis

Application de la précontrainte

- Avant l'application de la précontrainte
  - Enlever les coffrages sur les 2 côtés de la poutre
  - Fissuration à noter au formulaire F309.2_NEBT

Tolérances dimensionnelles

- Longueur totale (mesurée selon corde horizontale au bas de la poutre), déviation latérale et pente des surfaces d'appui : voir le CCDG et le texte de ce chapitre
- Correction de la déviation latérale et pente des surfaces d'appui : à valider par concepteur le cas échéant

Correction et fini de surface

- Après la fabrication de chaque poutre : enrobage de béton au-dessus des étriers : à mesurer avec un pachomètre et à noter au formulaire F309.2_NEBT (consulter concepteur si nombre important de non-conformités ou non-conformité importante).
- Avant la livraison des poutres
  - Réparations mineures (aspérités, cratères et nids de cailloux ayant de 6 à 12 mm) : voir l'article 15.4.3.5.11 du CCDG; à noter au formulaire F309.2_NEBT
  - Réparations majeures (cratères et nids de cailloux de plus de 12 mm, éclatement) : consulter concepteur pour approbation; à noter au formulaire F309.2_NEBT
  - Cachetage (bouts de poutres et trous laissés par les tiges de retenue des déviateurs)
    → Au moins 24 heures avant le transport
    → Bouts de poutres : 20 mm min.
    → Nettoyage préalable au jet d'abrasif humide ou jet d'eau haute pression (sans huile)
    → Mortier : au moins 20 MPa à 24 heures (voir « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées »)
  - Traitement des surfaces d'appui (pas de mortier si pas au niveau, meuler)

Manutention et entreposage

- Manutention : poutres doivent être soulevées verticalement par les crochets de levage
- Entreposage
  - Position verticale sur supports rigides et de niveau
  - Emplacement des appuis temporaires : à l'emplacement des appuis permanents ou tout au plus à une distance < hauteur de la poutre
  - Durée
    → La plus courte possible (ajuster calendrier de fabrication)
    → Si plus de 60 jours : charger la poutre (blocs de béton équivalant au poids de la dalle)
    → Ne pas autoriser le transport si poutres ne peuvent être mises en place immédiatement

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Température
  → T° > 10 °C jusqu'à l'atteinte de f'_c (voir l'article 15.4.3.5.10 du CCDG)

Transport et mise en place des poutres

- Par le fabricant des poutres
- Transport
  - Emplacement des appuis temporaires sur le camion : à l'emplacement des appuis permanents ou tout au plus à une distance < hauteur de la poutre
  - Surveillant doit inspecter les poutres à leur arrivée au chantier
- Mise en place
  - Plan de montage doit être rigoureusement suivi
    → Contreventements et ouvrages provisoires
      - Vérifier les points suivants :
        - Retenue latérale (aux unités de fondation et au tiers et aux deux tiers des portées, pour première poutre de chaque travée et pour chaque poutre suivante [en forme de X])
        - Retenue longitudinale (pour chaque poutre excepté en général pour travée avec appareils d'appui frettés sans éléments glissants : voir le texte de ce chapitre)
  - Blocs d'assise
    → Avant la mise en place des poutres : vérifier l'élévation des blocs d'assise
    → Si appareil d'appui à élastomère fretté : béton du bloc > 20 MPa
    → Si appareil d'appui à élastomère confiné : coulis > 20 MPa
  - Appareils d'appui
    → Voir chapitre 9 « Équipement » de ce manuel
  - Après la mise en place de chaque poutre
    → S'assurer qu'il y a contact parfait entre la poutre et l'appareil d'appui en élastomère fretté, sinon relever immédiatement la poutre et trouver la cause du problème
    → La poutre doit être immédiatement stabilisée latéralement et longitudinalement (contreventements et ouvrages temporaires)
  - Après chaque quart de travail
    → Inspection par un ingénieur (sans délégation) et avis écrit signé par cet ingénieur indiquant la conformité des contreventements et autres ouvrages temporaires mis en place
  - Après la mise en place de toutes les poutres
    → Contreventements temporaires : doivent demeurer en place jusqu'à ce que le béton des diaphragmes permanents soit > 10 MPa
    → Bétonnage des diaphragmes : avant le bétonnage de la dalle (sauf aux piles sans joint de tablier)
    → Bétonnage de la dalle
      - Après que le béton des diaphragmes soit > 10 MPa
  - Après l'enlèvement des contreventements ou autres ouvrages temporaires
    → Combler les cavités avec un mortier cimentaire
      - Voir article 15.4.3.5.11 du CCDG
      - Température minimale du béton : 5 ºC

CHAPITRE 7

OUVRAGES EN ACIER ET EN ALUMINIUM

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **7-1**

NORMES **7-3**

7.1 DOCUMENTS REQUIS **7-4**

7.2 EXIGENCES DE CONCEPTION **7-15**

7.3 MATÉRIAUX **7-16**

7.3.1 Acier de construction 7-18

7.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ **7-23**

7.4.1 Acier de construction 7-23
7.4.2 Aluminium 7-26
7.4.3 Boulons, tiges d'ancrage, écrous et rondelles en acier 7-26
7.4.4 Attestation de conformité des goujons 7-32

7.5 FABRICATION **7-32**

7.5.1 Réunion préalable 7-33
7.5.2 Découpage 7-34
7.5.3 Perçage 7-35
7.5.4 Soudures 7-36
7.5.5 Prémontage en usine 7-48
7.5.6 Autorisation de livraison 7-49

7.6 MANUTENTION, TRANSPORT ET MONTAGE **7-50**

7.6.1 Joints boulonnés 7-53

7.7 MODIFICATION OU RÉPARATION D'OUVRAGES EXISTANTS 7-69

7.8 MODE DE PAIEMENT 7-71

FIGURES

Figure 7.1-1 Visa type 7-7
Figure 7.1-2 Feuille de données de procédure de soudage – exemple 7-12
Figure 7.1-3 Ligne de temps pour les travaux de charpente métallique 7-15
Figure 7.3-1 Méthode de production des filets 7-21
Figure 7.3-2 Identification des boulons à haute résistance 7-23
Figure 7.4-1 Carte de compétence d'un soudeur 7-25
Figure 7.4-2 Formulaire de vérification des boulons 7-31
Figure 7.5-1 Procédé de soudage à électrode enrobée « SMAW » 7-37
Figure 7.5-2 Symbole de soudage 7-38
Figure 7.5-3 Symboles de soudure de base 7-39
Figure 7.5-4 Soudure d'angle – exemples 7-40
Figure 7.5-5 Soudure sur préparation des deux côtés avec pénétration complète et gougeage à l'envers 7-41
Figure 7.5-6 Symboles pour l'examen non destructif des soudures 7-46
Figure 7.5-7 Critères de contrôle pour des profils de soudures 7-48
Figure 7.6-1 Influence du serrage à bloc sur le serrage final 7-64
Figure 7.6-2 Exemple de marquage du boulon et de l'écrou pour un serrage final à 1/3 de tour 7-64

PHOTOGRAPHIES 7-73

AIDE-MÉMOIRE 7-75

INTRODUCTION

La construction d'un ouvrage en acier présente de nombreux avantages comparativement à la construction d'un pont en béton. Parmi ceux-ci, citons la légèreté du système structural qui convient bien aux sols de faible capacité ou qui permet de ne pas augmenter les charges sur les unités de fondation lors d'un changement de tablier.

Un ouvrage en acier diffère également d'un pont en béton coulé sur place quant à la manière dont les matériaux sont utilisés. En effet, lorsqu'on emploie du béton pour construire un pont, on doit le préparer au fur et à mesure des besoins de bétonnage et le mettre en place, sous sa forme finale, dans des coffrages. L'acier utilisé pour un ouvrage en acier est, quant à lui, fabriqué à l'avance, en utilisant des plaques de grandes dimensions ou des profilés qu'il faut transformer en usine.

Le terme « ouvrage en acier et en aluminium » du Cahier des charges et devis généraux (CCDG) inclut tout type d'ouvrage réalisé en tout ou en partie avec de l'acier de construction ou de l'aluminium, notamment les ouvrages comme les tabliers de pont, les murs de soutènement et les quais. Le terme désigne aussi tout élément en acier, tels les pieux, les appareils d'appui, les joints de tablier, les dispositifs de retenue, les drains, les drains d'interface et les éléments en acier des murs.

Cependant, ce chapitre ne traite pas des structures de signalisation ou d'éclairage.

Une distinction importante doit être bien comprise concernant la fabrication et le montage des ouvrages en acier. De façon générale, les divers éléments d'une structure peuvent être regroupés sous trois catégories :

- poutres principales (y compris les contreventements de ponts courbes);
- contreventements (verticaux et horizontaux) et diaphragmes;
- autres : joints, drains, appareils d'appui, glissières, garde-corps, etc.

Le cas des poutres principales est particulier. Ces dernières sont classées en deux catégories distinctes dans la norme S6, soit en membrures critiques à la rupture (MCR) et en membrures principales tendues (MPT). En raison des exigences thermiques et énergétiques pour l'essai de résilience Charpy, le CCDG exige d'obtenir les numéros de coulées des aciers qui entrent dans la fabrication de ces éléments. Les plans d'atelier doivent clairement en porter la mention. La norme S6 définit ces éléments comme suit :

- **Membrure à résistance critique à la rupture :** membrure ou partie de membrure, y compris les assemblages, dans un ouvrage sans redondance structurale, soumise à une contrainte de traction et dont la rupture peut entraîner l'effondrement de l'ouvrage.
- **Membrure principale tendue :** membrure ou partie de membrure, y compris les assemblages (mais autre qu'une membrure à résistance critique à la rupture ou un élément secondaire), soumise à une contrainte de traction.

La distinction principale entre ces deux types de membrures est le principe de redondance structurale, c'est-à-dire la possibilité de reprise des efforts par d'autres éléments voisins en cas de défaillance. Les semelles tendues des poutres ainsi que les contreventements et diaphragmes des ponts courbes sont considérés comme des membrures principales tendues, sauf dans le cas d'un pont à seulement deux poutres.

Le rôle du surveillant relativement aux travaux de fabrication de poutres principales consiste tout d'abord à mandater la Direction du contrôle de la qualité des matériaux (DCQM) du ministère des Transports du Québec (MTQ) (par le biais du chargé d'activité du MTQ pour un surveillant employé par un prestataire de services) pour faire le suivi technique. Tel qu'il est exigé au CCDG, il consiste également à organiser et à présider la réunion préalable à la fabrication des poutres principales. Il doit également effectuer le suivi des communications après l'émission de mémos (notes) de chantier par le laboratoire indépendant mandaté par la DCQM. En effet, ce laboratoire agit comme le représentant du surveillant dans l'usine. Bien qu'il n'ait pas à se préoccuper de la gestion des documents relatifs à l'assurance de la qualité et au contrôle des travaux effectués en usine, le surveillant doit, veiller à ce que les documents mentionnés dans les parties 7.1 « Documents requis » et 7.2 « Exigences de conception » du présent chapitre soient conformes aux exigences.

Pour ce qui est de la fabrication des contreventements et diaphragmes de ponts droits, la réunion préalable à leur fabrication n'est pas obligatoire, mais le surveillant doit tout de même demander à ce qu'un laboratoire soit mandaté par la DCQM afin de suivre les travaux en usine.

Pour ce qui est des travaux impliquant la fabrication d'appareils d'appui, de joints de tablier, de dispositif de retenue ainsi que de drains, le surveillant doit en informer la DCQM (par l'entremise du chargé d'activité du MTQ pour un surveillant employé par un prestataire de services) afin que ce dernier assure une présence en usine sous la forme d'audits. Puisque cette présence n'est pas systématique, le surveillant ne reçoit pas toujours un rapport. Il se doit cependant d'informer la DCQM de toute anomalie qu'il pourrait déceler sur ces produits afin que celui-ci augmente au besoin son contrôle.

Étant donné que le surveillant assume seul le suivi des travaux réalisés au chantier, l'essentiel de ce chapitre y est consacré. Outre les préoccupations qu'il doit avoir concernant les documents relatifs aux opérations de soudage effectuées au chantier ainsi qu'au suivi de ces dernières, il doit être vigilant lors du perçage des pièces métalliques et lors de la manutention, du transport et du montage des pièces.

Une partie de ce chapitre est consacrée à la modification et à la réparation d'un ouvrage en acier. La réalisation de ce genre de travaux est particulièrement délicate compte tenu du maintien de la circulation qui est souvent exigé et de la séquence des travaux qui est parfois très complexe.

Les travaux relatifs à un ouvrage en acier réalisés au chantier sont généralement exécutés par un sous-traitant spécialisé dans ce domaine. Une rencontre de tous les

intervenants, avant le début des travaux, doit être organisée afin que les exigences du Ministère et les particularités du projet soient bien comprises. Cette rencontre peut avoir lieu au cours d'une réunion de chantier par exemple.

Il est important de mentionner que, bien que ce chapitre traite des principales notions relatives à la construction d'un ouvrage en acier (poutres), il peut arriver que certaines notions d'application moins courantes ne soient pas couvertes. Le surveillant doit alors se référer à certains documents de base afin de trouver la réponse à ses interrogations. Ces documents peuvent être d'une aide appréciable pour la gestion des problèmes qui peuvent survenir au chantier. Le surveillant se doit cependant de consulter le concepteur s'il ne parvient pas à trouver ce qu'il cherche.

Ces documents de base sont :

- la norme CAN/CSA S6. Le chapitre 10 « Ouvrages en acier » de cette norme définit les caractéristiques des matériaux, les exigences de durabilité et les critères de conception. Une section du même chapitre présente également des exigences de construction concernant les documents requis pour la fabrication et le montage de l'ouvrage en acier, ainsi que la définition de la méthode de boulonnage prescrite pour les projets du Ministère. À moins d'une indication contraire dans les documents contractuels, cette norme doit être respectée;
- la norme CSA W59. Cette norme contient les exigences concernant la conception des assemblages soudés, les matériaux d'apport selon les procédés de soudage, l'exécution et les techniques de soudage, l'examen non destructif des soudures, le renforcement et la réparation des structures existantes ainsi que les ouvrages sollicités sous les charges statiques et cycliques. Précisons que dans le cas des ouvrages d'art, il faudra plutôt faire référence aux structures sous charges cycliques que statiques.

NORMES

Afin d'alléger le texte, la description complète des normes citées dans le présent chapitre est faite ici. Ces normes sont :

- CAN/CSA S6 : Code canadien sur le calcul des ponts routiers
- CSA W47.1 : Certification des compagnies de soudage par fusion de l'acier
- CAN/CSA W48 : Métaux d'apport et matériaux associés pour le soudage à l'arc
- CSA W59 : Construction soudée en acier (soudage à l'arc)
- CAN/CSA G40.20 : Exigences générales relatives à l'acier de construction laminé ou soudé

- CAN/CSA G40.21 : Aciers de construction
- CSA W178.1 : Qualification des organismes d'inspection en soudage
- CSA W178.2 : Qualification des inspecteurs en soudage
- CAN/ONGC-48.9712 : Non-destructive testing - Qualification and certification of NDT personnel
- AWS D1.1 : Structural Welding Code-Steel
- ASTM A 194 : Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High Pressure or High Temperature Service, or Both
- ASTM A307 : Standard Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 PSI Tensile Strength
- ASTM F3125 : Standard specification for High strength bolts, steel and alloy, heat treated, 120ksi (830MPa) and 150ksi (1040MPa) minimum tensile strength, inch and metric dimensions - Grades A325, A449, A490, F1852 et F2280
- ASTM A434 : Standard Specification for Steel Bars, Alloy, Hot-Wrought or Cold-Finished, Quenched and Tempered
- ASTM F436 : Standard Specification for Hardened Steel Washers (Metric)
- ASTM A563 : Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts
- ASTM A588 : Standard Specification for High-Strength Low-Allow Structural Steel,up to 50 ksi (345 MPa) Minimum YieldPoint, with Atmospheric Corrosion Resistance
- Norme 6101 du Ministère : Aciers de construction
- Norme 6201 du Ministère : Boulons, tiges d'ancrage, écrous et rondelles en acier

Mentionnons que les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes (mentionnées ci-haut) émises par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

7.1 DOCUMENTS REQUIS

L'entrepreneur doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG pour la remise des plans d'atelier de l'ouvrage en acier, des plans du système de support pour le transport des poutres, des procédures et plans de montage (contreventements et ouvrages temporaires). Ces exigences incluent les délais minimaux que le Ministère s'accorde pour étudier les plans.

Plans d'atelier de l'ouvrage en acier

Il est exigé au CCDG que l'entrepreneur fournisse au surveillant les plans d'atelier de l'ouvrage en acier ou en aluminium.

Les plans d'atelier devraient contenir les renseignements suivants :

- les détails des joints de chantier des poutres principales et situer leur emplacement;
- les détails de fabrication de chaque pièce;
- les détails de soudage, notamment le numéro de feuille de données de la procédure de soudage et le type de contrôle non destructif des soudures;
- la mention « Poutre principale », « Membrure critique à la rupture » ou « Membrure principale tendue » lorsque cela s'applique. Dans ces cas, les numéros de coulée et d'essai Charpy doivent être fournis après la fabrication.

Lorsque l'entrepreneur désire modifier l'emplacement d'un joint de chantier prévu aux plans, ou ajouter un joint de chantier non prévu dans les plans, sur les poutres principales, il doit présenter sa note de calcul et les détails des joints au surveillant avant de commencer la préparation des plans d'atelier. Cette précaution est nécessaire pour éviter qu'il soit dans l'obligation de refaire les plans d'atelier dans le cas où le concepteur refuserait le joint comme demandé. Le surveillant doit s'assurer que les documents montrant les détails des joints sont signés et scellés par un ingénieur; de même, il doit s'assurer que la note de calcul est signée par un ingénieur. Le surveillant doit transmettre ce document au concepteur pour commentaires. Si le concepteur accepte ce joint, l'entrepreneur prépare les plans d'atelier de l'ouvrage en acier en conséquence tout en précisant les détails et l'emplacement du joint.

Dans le cas d'un pont de portée importante et possédant un fort biais, le concepteur peut imposer une méthode de production des plans d'atelier. Ces exigences doivent apparaître dans les plans et devis. Il faut savoir qu'en raison de l'écart de déflexion, mesuré perpendiculairement au tablier, les poutres s'inclineront progressivement à chaque étape de construction. Concrètement, cette inclinaison fera en sorte que les semelles supérieures, aux extrémités des poutres, s'éloigneront des garde-grèves. Une légère torsion des poutres sera donc inévitable. Pour minimiser ce phénomène, deux possibilités peuvent être considérées : augmenter la rigidité du tablier afin de diminuer les écarts de déflexions ou contrôler les effets de ces mêmes écarts. Pour la seconde option, il s'agit de choisir une des trois méthodes de réalisation des plans d'atelier des contreventements et diaphragmes. Pour ces trois méthodes, les poutres sont dessinées et produites selon une géométrie considérant la cambrure totale sous les charges permanentes indiquée aux plans et devis.

- **Fabrication sans charge (*no-load fit*) :** les contreventements et diaphragmes sont dessinés et produits selon une géométrie considérant la cambrure totale indiquée aux plans et devis. Une fois la charpente érigée à sa position finale, les poutres

seront légèrement inclinées. La tolérance recommandée sur l'inclinaison des poutres est de l'ordre de 0,6 degré (1 %) sous le poids propre de la charpente seule. L'ajout des autres charges de construction accentuera leur inclinaison.

- **Fabrication sous poids propre (*steel-load-fit*) :** les contreventements et diaphragmes sont dessinés et produits en considérant les déflexions des poutres causées par le poids propre de la charpente. Une fois la charpente érigée à sa position finale, les poutres seront verticales. L'ajout des autres charges permanentes entraînera une inclinaison des poutres en s'éloignant du garde-grève.
- **Fabrication sous poids total (*total-load-fit*) :** les contreventements et diaphragmes sont dessinés et produits en considérant la géométrie finale anticipée de la charpente sous la totalité des charges permanentes. Une fois la charpente érigée, les poutres seront inclinées en s'approchant du garde-grève. L'ajout des autres charges permanentes positionnera les poutres près de la verticale. La méthode de montage sera beaucoup plus complexe et devra être évaluée attentivement par le surveillant. Il faudra aussi prendre en compte que le tablier complet subira une légère torsion lors du montage. Chacune des poutres devra donc être préalablement inclinée lors de l'assemblage.

Si les plans et devis ne prescrivent aucune méthode particulière, le choix revient à l'entrepreneur, et, dans la grande majorité des cas, il optera pour la méthode de fabrication sans charge. Peu importe la méthode de fabrication envisagée par l'entrepreneur, le surveillant doit en informer le concepteur et lui demander ses commentaires de l'impact de cette dernière sur la charpente ainsi que sur les appareils d'appui.

Il est habituellement demandé dans les plans que les filets des boulons ne soient pas interceptés par les plans de cisaillement. La portion non filetée du boulon doit être suffisamment longue pour que les filets ne se retrouvent à l'interface située entre les pièces à assembler. Cette portion ne doit pas, par contre, être trop longue, car si elle excède l'épaisseur totale des pièces à assembler, l'écrou coincera au début de la partie non filetée. Il sera alors impossible de comprimer les pièces entre elles et donc de développer la friction entre ces dernières. Pour un assemblage par contact, qui peut se produire en cas de glissement de l'assemblage sous une charge exceptionnelle, il est important de noter que la résistance en cisaillement est augmentée lorsque les filets ne sont pas interceptés par les plans de cisaillement entre les pièces à assembler. Le surveillant doit donc s'assurer que la longueur des boulons indiquée aux plans de montage est conforme à cette exigence.

<u>Approbation des documents</u>

Les plans d'atelier doivent être signés et scellés par un ingénieur.

Le surveillant doit faire viser par le concepteur les plans d'atelier de l'ouvrage et la note de calcul des joints de chantier des poutres principales non montrés aux plans de soumission; les documents visés sont ensuite retournés au surveillant. Le visa est un acte par lequel le concepteur reconnaît que ceux-ci sont conformes dans leurs grandes

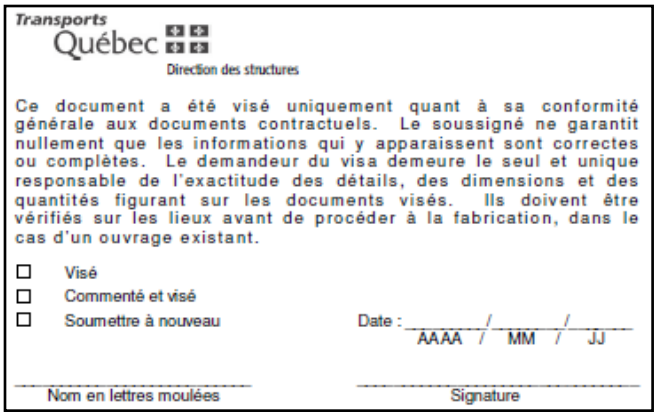
lignes aux documents contractuels; l'entrepreneur conserve cependant l'entière responsabilité de l'exactitude des détails, des dimensions et des quantités. Il conserve également l'entière responsabilité de la conception des joints de chantier des poutres principales non montrés aux plans. La figure 7.1-1 montre un exemple d'estampe utilisé à titre de visa.

Dans le cas d'un ouvrage existant, il est très important que l'entrepreneur vérifie sur les lieux les dimensions des éléments indiqués aux plans. Il arrive souvent que le surveillant reçoive des plans d'atelier sans que cette vérification ait été faite, les plans visés doivent alors être retournés à l'entrepreneur avec la mention « Dimensions à vérifier au chantier ».

La fabrication d'un ouvrage en acier ne doit pas commencer avant l'approbation des plans d'atelier.

Dans certains projets de réparation d'une structure existante, il peut être impossible de produire les plans d'atelier préalablement aux travaux surtout dans le cas où les pièces existantes servent de gabarit à la fabrication des nouvelles pièces. Dans ces cas, il pourrait être acceptable que les plans d'atelier soient produits en cours de travaux ou même après. Une entente doit être prise auprès du représentant du MTQ.

Une fois la fabrication terminée, l'entrepreneur doit resoumettre les plans d'atelier sur lesquels est inscrit le numéro de coulée de chacune des pièces entrant dans la fabrication des membrures citées dans le CCDG (poutre principale, MCR et MPT). Cette exigence est nécessaire étant donné que le marquage des pièces en usine disparaît en raison du nettoyage des pièces et l'application du revêtement anticorrosion. Ces plans « tels que construits » seront la source de référence en cas de problème éventuel dans la vie du pont et permettront de minimiser le nombre d'essais à faire.


Transports Québec
Direction des structures

Ce document a été visé uniquement quant à sa conformité générale aux documents contractuels. Le soussigné ne garantit nullement que les informations qui y apparaissent sont correctes ou complètes. Le demandeur du visa demeure le seul et unique responsable de l'exactitude des détails, des dimensions et des quantités figurant sur les documents visés. Ils doivent être vérifiés sur les lieux avant de procéder à la fabrication, dans le cas d'un ouvrage existant.

☐ Visé
☐ Commenté et visé
☐ Soumettre à nouveau

Date : _____ / _____ / _____
AAAA / MM / JJ

_____
Nom en lettres moulées

_____
Signature

Figure 7.1-1 Visa type

Procédures et plans de montage

Il est exigé au CCDG que l'entrepreneur fournisse au surveillant la procédure de montage de l'ouvrage en acier; les plans et les calculs du procédé de montage doivent accompagner cette procédure. Ces documents doivent être préparés en conformité avec les exigences du CCDG. La procédure de montage doit inclure les détails concernant les ouvrages temporaires ainsi que les méthodes servant à la manipulation des poutres.

C'est à l'entrepreneur de vérifier les efforts et de procéder aux calculs démontrant que l'ouvrage est stable et que la procédure de montage ne causera pas de contrainte menant à la plastification des poutres (limite de 0.9 Fy). Bien que le concepteur ait plusieurs vérifications à faire en prévision du montage de la charpente, il ne peut connaître avec exactitude la méthode prévue par l'entrepreneur. Une attention particulière doit être apportée lorsque les poutres principales sont transportées en position horizontale, puisqu'il sera nécessaire de les remettre en position verticale.

C'est le cas notamment, lorsque la méthode de levage se fait par la méthode dite de « *basket* », c'est-à-dire par une courroie enroulée autour de la poutre. En effet, lorsque le centre de gravité de la poutre passe au-dessus du point d'appui au sol (coin de la semelle), un contrecoup survient et peut engendrer des déplacements incontrôlés de la poutre potentiellement dangereux.

La procédure de montage doit exposer clairement la méthode de travail proposée pour la mise en place des composants, y compris la séquence de montage, les poids et les points de levage des membrures, ainsi que l'emplacement et la capacité de levage des grues utilisées. Ils doivent décrire et présenter la localisation et les vues détaillées des contreventements et des ouvrages temporaires qui doivent servir au cours de la construction. Si requis, l'entrepreneur doit présenter des calculs démontrant que les membrures permanentes et les appuis ne subiront pas de surcharge au cours du montage. Les plans et les calculs du procédé de montage doivent inclure les contreventements et les ouvrages temporaires décrits au CCDG.

Les plans de montage présentent visuellement la procédure de montage et indiquent les principales dimensions du pont, les marques des pièces (poutres principales, plaques couvre-joints, contreventements, diaphragmes, etc.), les exigences de soudage au chantier, y compris le numéro de la feuille de données, les dimensions et les types de boulons, ainsi que les critères d'installation des boulons.

Il est très important de mentionner que c'est durant la phase de construction, lorsque l'ouvrage est incomplet, que celui-ci est le plus vulnérable. Cette vulnérabilité est encore plus grande dans le cas de la première poutre mise en place tant qu'une deuxième poutre n'est pas à sa position finale et est contreventée à la première. Il faut donc s'assurer que l'ouvrage demeure stable durant la construction. Pour ce faire, il est exigé au CCDG que l'entrepreneur fournisse les plans des contreventements et des ouvrages temporaires au moins 2 semaines avant les travaux.

La description du procédé visant à assurer la stabilité du pont lors du remplacement d'une poutre principale, d'une entretoise, d'une membrure ou des éléments de poutres triangulées d'un ouvrage en acier doit faire partie des plans et calculs du procédé de montage mentionné précédemment.

La procédure ainsi que les plans de montage doivent être signés et scellés par un ingénieur. Ces documents doivent être transmis au concepteur pour commentaires. Le surveillant ainsi que le concepteur doivent vérifier ces derniers de façon à s'assurer que les renseignements qui y apparaissent semblent convenir aux exigences spécifiées dans les documents contractuels; S'ils jugent que ce n'est pas le cas, ils doivent faire les interventions qu'ils croient nécessaires auprès de l'entrepreneur. Le surveillant doit de plus s'assurer que les plans et calculs du procédé de montage sont signés et scellés par un ingénieur.

Procédures de boulonnage

La procédure de boulonnage qui doit être remise au surveillant au moins 7 jours avant la réunion préalable au boulonnage lorsque celle-ci concerne des joints de chantier de poutres principales. Dans les autres cas, la procédure de boulonnage doit être remise au surveillant au moins 7 jours avant le début des travaux de boulonnage. Cette procédure doit décrire la méthode et les équipements employés en chantier pour chacune des étapes de l'installation des boulons. Elle doit également présenter la méthode d'ajustement des sections de poutres ainsi que la séquence de mise en place et de serrage des boulons. De plus, elle doit inclure le certificat d'étalonnage (datant de moins de 12 mois) de l'appareil servant à mesurer la tension des boulons. Cette exigence du CCDG est importante, puisque cette procédure sera utilisée lors de la vérification de la tension minimale au moyen d'un tensiomètre et lors de l'installation des boulons. Cette procédure doit être signée par un ingénieur.

Documents divers

Il est également exigé au CCDG que l'entrepreneur fournisse au surveillant, 7 jours avant le début de la fabrication et des travaux de soudage réalisés au chantier (14 jours avant le transport des poutres pour les documents relatifs au transport), les documents suivants :

- **L'échéancier de fabrication** afin de permettre la planification des besoins en surveillance.
- La **liste des personnes affectées à la fabrication** de l'ouvrage en acier et leurs qualifications y compris les cartes de compétence du personnel effectuant les soudures : ingénieurs en soudage, inspecteurs en soudage, superviseurs en soudage, soudeurs, pointeurs, opérateurs de machine à souder et responsables du contrôle de la qualité.

Les cartes des inspecteurs qualifiés (selon les exigences de la norme CAN/CGSB-48.9712), des soudeurs et des superviseurs qualifiés (selon les exigences de la norme CSA W.47.1) délivrées par le Bureau canadien de soudage doivent être vérifiées par le surveillant avant le début des travaux au chantier.

Dans le cas des drains, des drains d'interface des soudures d'étanchéité des joints d'assemblage boulonnés des joints de tablier, l'inspecteur en soudage peut être remplacé par un superviseur en soudage.

- Le **certificat de qualification** de l'entreprise chargée des travaux de soudage. Ce document est délivré par le Bureau canadien de soudage et la certification doit être maintenue pendant toute la durée des travaux.
- Le **nom du laboratoire** d'inspection en soudage chargé d'effectuer les examens non destructifs des soudures pour le compte de l'entrepreneur.

  Le laboratoire enregistré chargé d'effectuer les examens non destructifs des soudures doit être certifié par le Bureau canadien de soudage selon les exigences de la norme CSA W178.1. Le surveillant peut vérifier sur le site Internet du Bureau canadien de soudage si le laboratoire proposé par l'entrepreneur est certifié pour la catégorie de produits inspectés et pour les différentes méthodes d'examens utilisées. Le surveillant peut transmettre ces documents au concepteur pour information.
- Les **procédures de soudage,** incluant celles des goujons, ainsi que celles pour les corrections et les réparations.

En effet, il est exigé au CCDG que l'entrepreneur fournisse au surveillant les procédures de soudage pertinentes, y compris les feuilles de données approuvées par le Bureau canadien de soudage, autant pour la réalisation des soudures que pour d'éventuelles réparations à celles-ci. Ces documents sont préparés par un ingénieur qualifié possédant des connaissances approfondies en métallurgie.

Une procédure de soudage décrit la méthode de travail que doit suivre le soudeur afin de réaliser un assemblage soudé qui répond aux exigences formulées dans les normes. Elle est habituellement établie pour chaque procédé de soudage et contient généralement les renseignements suivants :

- le domaine d'application;
- les normes applicables;
- le procédé de soudage et son mode d'application;
- la nuance du métal de base;
- la classification du métal d'apport;
- la position de soudage;
- le préchauffage et le postchauffage;
- les détails sur la préparation des joints;

- la préparation de surface du métal de base;
- les feuilles de données associées à la procédure de soudage;
- l'approbation de l'ingénieur du fabricant et le sceau du Bureau canadien de soudage.

Les feuilles de données, aussi appelées mode opératoire, détaillent l'information technique particulière requise lors du soudage de chaque joint, pour une gamme d'épaisseurs donnée. Une feuille de données contient beaucoup d'information, notamment :

- les caractéristiques du métal de base;
- le type et le diamètre de l'électrode;
- la procédure de soudage;
- le type de courant et la vitesse de soudage;
- la position de soudage;
- les détails de préchauffage;
- la préparation des pièces à assembler selon le symbole de soudage;
- le nombre de passes et leur localisation dans le cas de soudures multipasses.

La figure 7.1-2 montre un exemple d'une feuille de données.

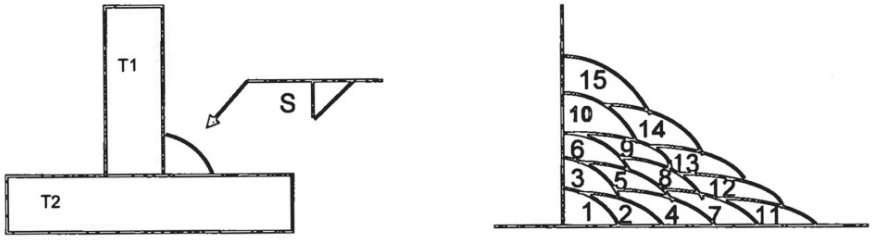
Les procédures de soudage et les feuilles de données n'ont pas à être visées, ni par le surveillant ni par le concepteur, puisqu'elles ont été approuvées par le Bureau canadien de soudage. Par contre, le surveillant doit les vérifier de façon à s'assurer que les informations qui y apparaissent semblent convenir aux exigences spécifiées dans les documents contractuels; s'il juge que ce n'est pas le cas, il doit faire les interventions qu'il croit nécessaires auprès de l'entrepreneur. Il doit de plus s'assurer que les documents sont signés et scellés par un ingénieur et approuvés par le Bureau canadien de soudage.

SPÉCIFICATION DE MODE OPÉRATOIRE DE SOUDAGE/ FEUILLE DE DONNÉES DE MODE OPÉRATOIRE DE SOUDAGE

WPDS #: SM-F1
Date: 13 juillet 2015
Nom de la Compagnie:
Adresse:
Normes de Réf: CSA W47.1 & W59
Réf. WPS: Voir verso
Réf. PQR: Joint Préqualifié

Procédé:	SMAW	Pulsé? Non	Position:	Plat/Horizontal	Mode d'application:	Manuel			
Mat. de Base:	Acier Groupes 1, 2, 3 - Tableau 11-1 ou 12-1 de CSA W59 et ASTM A108 grades 1008 a 1022		Type de Flux:	N/A	Gaz de protection:	N/A			
			Type de W:	N/A	Débit:	N/A	pi3/h		
Métal d'apport:	E4918-HX		Diamètre du W:	N/A po					
	(X ≤ 8 ou; X ≤ 16 pour acier de W59, col 2, T. 5.3)		Temp. Préch.:	Tab. 5.3 de W59 (1) °F	Interpasse:	Min:	Tab. 5.3	°F	
Nettoyage:	Enlever le laitier après chaque passe		Trait. Therm.:	N/A °F		Max:	N/A	°F	

Géométrie de la préparation: ***Disposition des passes:***



Dimensions du joint:
Tolérances du joint:
G = 0 ±
Q (°) =
R_{Fmin} =
ETT (E) = N/A
Sauf indication les dimensions sont en pouces.

TYPE DE SOUDURE:	Soudure d'angle	Type d'assemblage	Bout à bout		Longueur de fil libre:	N/A	po
TYPE DE PENETRATION:	Soudure d'angle		T	✓	Dia. de la buse:		po
SUPPORT À L'ENVERS:	N/A		Coin	✓	Mode de transfert		lbs/h
			Recouvrement	✓			
Matériel:	Epaisseur: (po)		Sur chant		Type de source	Courant constant	

Technique: Pour les aciers G40.21 350A, 350AT, 400A, 400AT, ET ASTM A242 ou A588 soudés en monopasse de plus de 1/4" de dimension ou en multipasse, pour des applications non peintes don't la résistance à la corrosion doit être similaire à celle du métal de base, utiliser SM-F5
Pour les aciers G40.21 350A, 350AT, 400A, 400AT, ET ASTM A242 ou A588 soudés en monopasse de 1/4" ou moins dont la couleur doit correspondre au métal de base, utiliser SM-F5

Epaisseur des pièces T1	Epaisseur des pièces T2	Dimension soud. S(po)	No. de la couche	No. des passes	Dia. Mét. d'apport (po)	Taux de dépôt (lbs/hr)	Courant DC + (A)	Vitesse de dévidage (po/min)	Tension (Volts)	Vitesse d'arc (po/min) Min	Vitesse d'arc (po/min) Max	Apport thermique (kJ/po) Min	Apport thermique (kJ/po) Max
1/8-5/32	1/8min	5/32	1	1	3/32		80 - 95						
3/16	3/16min	3/16	1	1	1/8		130 - 150						
1/4-1/2	1/4-1/2	3/16	1	1	1/8		130 - 150						
1/4	1/4min	1/4	1	1	1/8		130 - 150						
5/16-3/4	5/16-3/4	1/4	1	1	1/8		130 - 150						
5/16min	5/16min	5/16	typ 1	1	5/32		170 - 200						
3/8min	3/8min	3/8	2	2 - 3	5/32		170 - 200						
1/2min	1/2min	1/2	2 - 3	2 - 6	5/32		170 - 200						
5/8min	5/8min	5/8	2 - 4	2 - 10	5/32		170 - 200						
3/4min	3/4min	3/4	2 - 5	2 - 15	5/32		170 - 200						

Remarques:
(1) Pour le prechauffage du ASTM Grades A108 grades 1008 a 1022, utiliser la colonne 3 du tableau 5.3 de CSA W59
(2) T1 et T2 peuvent être intervertis
(3) Cette procedure peut etre utiliser des Gougeons selon CSA W59 clause 6.4.14 et 6.6.1

Date des révisions:	Raison des Révisions:	Acceptation du CWB:	Représentant de la Compagnie:
13 juillet 2015	ajout de la reparation de gougeons	Accepté par le CWB *July 16, 2015* Valide uniquement lorsque les produits d'apport sont certifés par le CWB	INGÉNIEUR ENGINEER QUÉBEC 13 juillet 2015

Préparé par

Figure 7.1-2 Feuille de données de procédure de soudage – exemple

Le surveillant peut transmettre ces documents au concepteur pour information :

- La **liste des ouvrages en acier** conçus selon la norme CAN/CSA S6 que le fabricant a réalisés récemment. Cette liste est essentielle pour savoir si le fabricant a une expérience pertinente dans la fabrication d'ouvrages en acier tels que des ponts.
- La **liste des travaux** que le fabricant de l'ouvrage en acier a réalisés récemment en utilisant le procédé de soudage à l'arc submergé (procédé SAW) pour les soudures d'angle à la jonction semelle-âme des poutres principales.
- Les **documents relatifs au système de support** des poutres à âme pleine lorsque ces dernières ne peuvent être transportées en position verticale.

En effet, il est exigé au CCDG que l'entrepreneur fournisse au surveillant les plans et la note de calcul du système de support nécessaire pour le transport des poutres à âme pleine ne pouvant être transportés avec l'âme en position verticale.

Les plans du système de support et la note de calcul l'accompagnant n'ont pas à être visés, puisqu'ils concernent des ouvrages temporaires. Par contre, le surveillant doit les vérifier attentivement de façon à s'assurer que le système de support qui y apparaît satisfait aux exigences du CCDG, dans la partie « Documents Requis », et convient aux ouvrages à transporter. Il ne doit pas hésiter à émettre des commentaires et à poser toutes les questions requises. S'il considère la procédure complexe, il peut demander assistance au concepteur ou à la Direction générale des structures (DGS). Il doit de plus s'assurer que les plans du système de support sont signés et scellés par un ingénieur, et que la note de calcul est signée par un ingénieur.

Ces documents doivent par la suite être transmis au représentant du surveillant à l'usine. Le surveillant peut aussi transmettre les documents au concepteur pour information.

Échéancier d'un projet d'ouvrage métallique

Bien que tous les projets soient différents, l'échéancier d'obtention des différents documents suit néanmoins une certaine homogénéité (voir la figure 7.1-3). Dans la majorité des projets, le fabricant ne procédera à aucun achat de matériel avant d'avoir obtenu l'autorisation de commencer les travaux afin de ne pas devoir supporter un inventaire inutilement. Il peut en effet y avoir un certain délai, pouvant aller jusqu'à des mois, entre la signature du contrat et l'autorisation de commencer les travaux. La cause de ces délais peut être d'ordre environnemental, politique, socio-économique, etc. L'article 7.1 du CCDG donne tout de même un délai maximal de 45 jours entre l'obtention du contrat et l'autorisation de commencer les travaux.

Une fois l'autorisation de commencer les travaux obtenue, le fabricant procédera à l'achat des matériaux requis. Il évaluera le délai de livraison de ces derniers ainsi que le temps requis pour la production, la révision et l'approbation des plans d'atelier afin de fixer la date du début de la fabrication. En fonction de la date fixée, la production des plans d'atelier peut débuter. Un délai de 14 jours est exigé pour la vérification et ils

doivent être complets et visés pour la réunion préalable à la fabrication, qui a lieu au moins 7 jours avant la fabrication. Un délai minimal de 21 jours doit donc être prévu entre le premier dépôt des plans d'atelier et le début de la fabrication.

Une fois la date de début de la fabrication confirmée, le fabricant est en mesure de fixer l'échéancier de livraison au chantier, et ainsi permettre à l'entrepreneur d'agencer son échéancier des autres travaux (démolitions, fondations, appareils d'appuis, etc.).

Avant le début de la fabrication, le fabricant doit présenter plusieurs documents déjà mentionnés dans la section « Documents divers » de ce manuel. Parmi ceux-ci, mentionnons les procédures et modes opératoires de soudage, le personnel affecté aux soudages, les compétences, etc.

À la fin de la fabrication, le fabricant doit déposer auprès du surveillant, une dernière version des plans d'atelier des poutres principales, des membrures critiques à la rupture et des pièces tendues. Cette version doit contenir les numéros de coulées ainsi que les résultats des essais Charpy conformes aux exigences du devis. Il s'agit d'informations très importantes à obtenir, puisqu'il est très dispendieux de réaliser les tests requis sur une structure existante, et de plus, il s'agit d'essais destructifs nécessitant la collecte de plusieurs échantillons.

Après réception de toute la documentation requise, dont la procédure de transport des poutres, et à la suite de l'inspection finale, le représentant du surveillant peut délivrer l'autorisation de livraison des éléments non revêtus. Dans le cas d'éléments devant être galvanisés, métallisés ou peints, une seconde autorisation doit être délivrée lorsque tous les travaux sont terminés. Il faut comprendre qu'une fois les éléments revêtus d'un système de protection, plusieurs défauts deviennent difficile, voire impossible, à observer.

La procédure, les plans et les calculs du montage doivent être présentés au moins 14 jours avant ces travaux.

La procédure de boulonnage doit être fournie au moins 7 jours avant les travaux de boulonnage. En présence de joints de chantier de poutres principales, elle doit être fournie au moins 7 jours avant la réunion préalable au boulonnage, qui elle, doit être tenue au moins 7 jours avant les travaux de boulonnage. Dans ce cas-ci, elle doit être acceptée avant cette réunion.

En cours de montage, si des travaux de modifications ou de soudage en chantier doivent être réalisés, l'entrepreneur doit présenter une procédure ainsi que certains documents (15.7.1) pour ces travaux au moins 7 jours avant ces derniers. L'entrepreneur doit notamment présenter son laboratoire d'inspection des soudures puisque toutes les soudures doivent minimalement être inspectées visuellement et, dans la majorité des cas, elles doivent faire l'objet d'un contrôle non destructif.

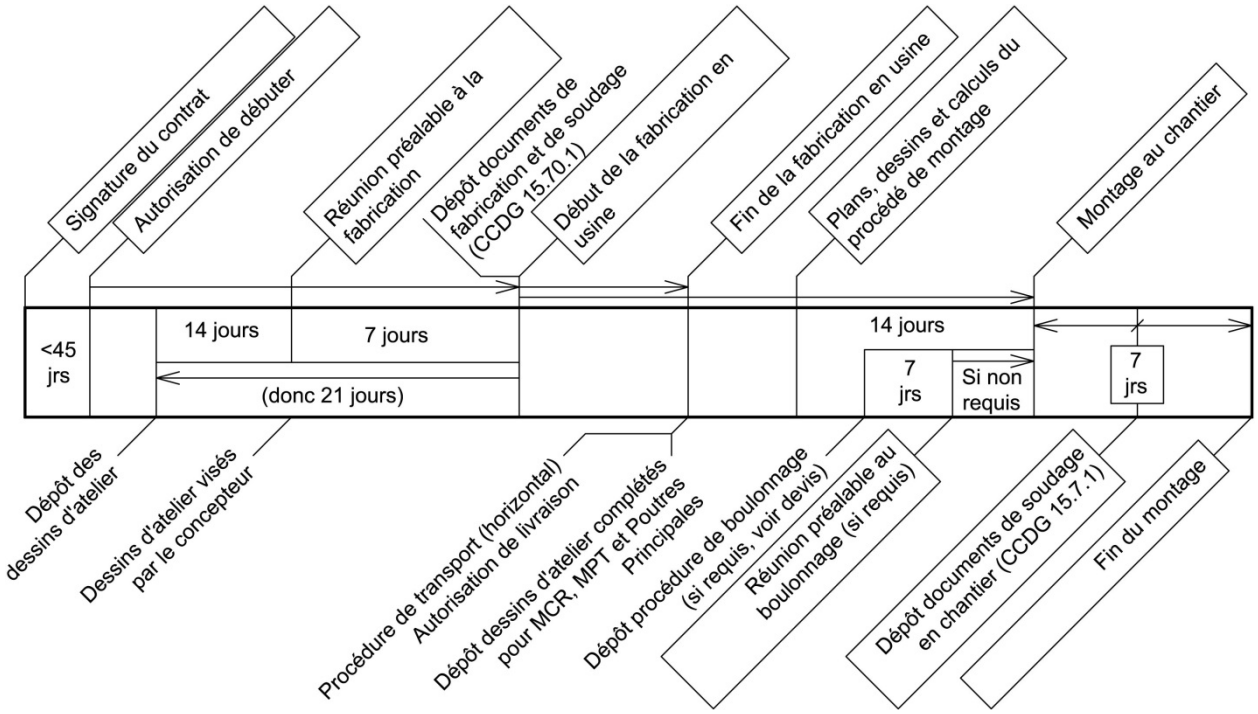


Figure 7.1-3 Ligne de temps pour les travaux de charpente métallique

7.2 EXIGENCES DE CONCEPTION

Les exigences de conception s'adressent d'abord et avant tout au concepteur qui doit en tenir compte lors de la vérification des plans d'atelier et des notes de calcul du fabricant de l'ouvrage en acier; si le surveillant a des interrogations à ce sujet, il doit le consulter.

Mentionnons tout de même que les joints de chantier des poutres principales sont généralement détaillés dans les plans. Il est possible que l'entrepreneur désire ajouter des joints de chantier ou modifier l'emplacement de certains joints prévus aux plans; dans ce cas, les modifications proposées par l'entrepreneur doivent être approuvées par le concepteur et les joints doivent être conçus selon les exigences du manuel de conception, du CCDG et la norme S6. À la demande de l'entrepreneur, le surveillant doit lui fournir les valeurs des efforts à l'emplacement du joint et il doit consulter le concepteur à ce sujet. L'approbation de nouveaux joints ou leurs nouvelles positions doivent être préalablement approuvées par le surveillant avant la production des plans d'atelier. Le surveillant doit, quant à lui, en informer le concepteur et obtenir son approbation.

Il est important de noter que les joints de chantier des poutres principales ne sont pas permis pour des ponts à travées simples dont la portée est inférieure à 36 m, sauf si les plans et devis contiennent d'autres indications.

Mentionnons aussi qu'il est exigé au CCDG qu'aucun ouvrage temporaire servant à la manipulation des poutres ne doit être soudé à celles-ci; cette exigence s'impose afin d'éviter que les soudures de ces ouvrages constituent des amorces de fissures aux zones critiques comme les semelles tendues.

7.3 MATÉRIAUX

Métal d'apport des soudures

Le métal d'apport doit être conforme à la norme CAN/CSA W48. Cette norme est contractuelle par la norme CSA W59.

Les seules méthodes de soudage autorisées sur les chantiers sont le soudage à l'arc à électrode enrobée (« Sheilded Metal Arc Welding » ou SMAW, communément appelée le soudage « à la baguette » ou « à la rod »), au fil fourré (« Flux cored arc welding » FCAW) ou au fil à âme métallique (« Metal cored arc welding » MCAW). Les principales différences entre les deux procédés sont la robustesse aux intempéries et le taux de production. En situation de chantier difficile, le SMAW est à privilégier, mais si de grandes quantités de soudures sont à produire, les FCAW et MCAW offriront une production supérieure. Comme les procédés FCAW et MCAW sont en pratique très similaires, pour le reste de ce manuel, le terme FCAW sera utilisé.

Le SMAW est le soudage le plus robuste en situation de chantier, puisqu'il offre une excellente protection du bain de fusion directement au-dessus de ce dernier et élimine la contamination par l'hydrogène et l'oxygène. Cela rend le procédé beaucoup moins sensible aux conditions de chantier. L'enrobage fournit également un laitier au-dessus du bain de fusion qui protège la soudure contre les effets nuisibles de l'air au cours de la solidification. Par la suite, le laitier en fusion se sépare du métal et forme une couche fragile à la surface de la soudure. Cette couche, ainsi que tout résidu, doit être retirée par martelage et brossage.

Les électrodes du procédé SMAW sont constituées de tiges solides d'environ 350 mm de longueur. L'identification des électrodes pour le procédé SMAW est relativement simple, contrairement au FCAW, et chaque électrode est individuellement marquée. Par exemple, l'identification E7018 – H8 signifie :

- *E* = électrode pour soudage à l'arc
- *70* = résistance ultime en ksi (70ksi = 490 MPa)
- *1* = position de soudage
  - *1 = toutes les positions*
  - *2 = à plat ou horizontal seulement*
  - *3 = à plat seulement*
  - *4 = vertical descendant*

- *8* = indications sur l'enrobage, la pénétration, le courant requis, etc.
  - *Liste de 10 propriétés spécifiques (non énumérées ici)*
- *H8* = 8 ml d'hydrogène soluble par 100 g de métal d'apport
  - *Chiffres standards : 4, 8 et 16 ml d'hydrogène soluble par 100 g*

Le procédé FCAW est également accepté puisqu'il permet d'avoir une certaine protection du bain de fusion, comme le fait le SMAW, mais cette protection est un peu moins robuste contre le vent. Ce type d'électrode est disponible en rouleaux vendus au poids. Le choix du type d'électrode est plus complexe que le FCAW, mais deux grandes catégories d'électrodes sont disponibles, soit avec ou sans ajout de gaz de protection. La catégorie avec gaz de protection exige un apport de gaz provenant du bout de la poignée porte-électrode, tandis que la catégorie sans gaz produit les gaz protecteurs directement dans le bain de fusion. En chantier, on doit privilégier la catégorie sans gaz de protection, et des protections physiques contre le vent doivent être prévues. Ces dernières peuvent consister en un simple panneau pare-vent ou en un abri complet selon les situations de chantier. Voici un exemple de désignation des électrodes FCAW (E71T-9M-JH4) :

- *E* = électrode pour soudage à l'arc
- 7 = résistance en ksi (70 000ksi = 490MPa)
- *1* = position de soudage
  - *0 = à plat ou horizontal*
  - *1 = toutes les positions*
- *T* = électrodes tubulaires
- *9* = caractéristiques d'opération, polarité
- *M* = gaz de protection
  - *M = mélange Argon-CO_2*
  - *C = 100% CO_2*
  - *Vide = sans gaz de protection*
- *J* = résistance à la fatigue amélioré
- *H4* = 4 ml d'hydrogène soluble par 100 g de métal d'apport
  - *Chiffres standards : 4, 8 et 16 ml d'hydrogène soluble par 100 g*

Le métal d'apport doit être compatible avec le métal de base et ses caractéristiques mécaniques, y compris ses propriétés de résilience, doivent être équivalentes ou supérieures à celles du métal de base. Dans le cas des aciers soudables résistants à la corrosion atmosphérique (les nuances 350A et 350AT), les soudures doivent présenter

les mêmes caractéristiques de résistance améliorée à la corrosion tout en ayant une couleur similaire à celle du métal de base. Les électrodes sont également sélectionnées selon le type de courant utilisé et les positions de soudage.

La vérification du choix des électrodes doit se faire à partir de l'information apparaissant sur la feuille du mode opératoire de la procédure de soudage dont le numéro est indiqué dans la queue du symbole de soudage dans les plans d'atelier.

Les électrodes (SMAW et FCAW) doivent être à enrobage basique ou désignées à hydrogène contrôlé (HC) afin de limiter la fissuration des soudures causée par l'hydrogène emprisonné dans le bain de fusion. Autrement dit, dans l'identification de l'électrode, il doit y avoir l'inscription H4, H8 ou H16.

7.3.1 Acier de construction

L'acier de construction doit être conforme à la norme 6101 du Ministère. Les principales normes concernant l'acier de construction qui y figurent sont les normes CAN/CSA G40.20 et CAN/CSA G40.21.

La première norme contient principalement les tolérances dimensionnelles des plaques et des profilés, l'identification des produits ainsi que les traitements thermiques. Elle contient également les exigences concernant la méthodologie des analyses pour la détermination de la composition chimique et des propriétés mécaniques des produits, la localisation et la préparation des spécimens en vue des essais.

La deuxième norme définit les types et nuances d'acier, leur composition chimique, leurs propriétés mécaniques ainsi que la disponibilité des produits laminés et des plaques pour chaque type et chaque nuance d'acier. Cette norme précise également les essais à réaliser pour chaque type d'acier.

La nuance de l'acier est désignée par un nombre, correspondant à la valeur nominale garantie de la limite élastique (Fy), suivi d'une ou deux lettres identifiant le type d'acier, soit les lettres W, WT, A et AT :

- W : « Weldable » acier soudable convenant aux constructions générales soudées lorsque la résilience n'est pas de première importance;
- WT : « Weldable & Tempered » acier soudable à résilience améliorée à basse température convenant aux constructions soudées où la résilience est de première importance;
- A : « Atmospheric » acier soudable résistant à la corrosion atmosphérique convenant aux constructions générales soudées lorsque la résilience n'est pas de première importance;
- AT : « Atmospheric & Tempered » acier soudable résistant à la corrosion atmosphérique à résilience améliorée à basse température convenant aux constructions soudées où la résilience est de première importance.

Dans le cas des aciers atmosphériques, une mince « patine » de corrosion très dense se forme plus ou moins rapidement selon l'exposition à l'humidité. Il ne faut donc pas se surprendre que les poutres soient livrées au chantier avec un aspect corrodé. Également, selon la propreté des surfaces, il est possible que la couleur de la corrosion ne soit pas parfaitement uniforme. Cependant, avec le temps, une certaine uniformisation de la couleur se produit. Ce phénomène peut être ralenti par la présence d'huile ou de saletés épaisses. Si le surveillant constate la présence d'huiles et saletés en trop grande quantité ou en présence de marques de peinture, il est recommandé de demander à l'entrepreneur de procéder à un nettoyage au jet d'eau sous pression.

Dans le cas des pieux en H, le grade d'acier peut être soit du CSA G40.20/G40.21 de nuance 350W ou ASTM A572 grade 50 ou 55. Mentionnons que l'acier fabriqué selon la norme ASTM A588 peut être accepté comme un équivalent à l'acier fabriqué selon la norme CSA G40.21 nuance 350A. Dans le cas de l'acier 350AT par contre, des résultats d'essais de résilience doivent être fournis avant d'accepter l'équivalence. Le surveillant doit se référer au concepteur dans ces derniers cas avant d'autoriser la substitution.

Aluminium

Comme l'utilisation de l'aluminium dans les structures routières autres que dans les structures de signalisation est très peu répandue, vous êtes prié de communiquer avec la DGS afin d'obtenir de l'assistance. Il existe énormément de grades d'aluminium différents ayant des propriétés, voire des compatibilités, très variées.

Boulons, tiges d'ancrage, écrous et rondelles en acier

Les boulons, les tiges d'ancrage, les écrous et les rondelles doivent être conformes à la norme 6201 du Ministère.

Les boulons sont offerts selon plusieurs grades conformément aux normes ASTM A307 grade A ou F3125. La norme F3125 regroupe maintenant les grades A325, A490, F1852 et F2280 et sont fabriqués selon les unités impériales, en multiple de huitièmes de pouce. Les grades A325 et A490 sont les plus couramment utilisés dans les ouvrages en acier. Les boulons A490 sont employés lorsque la capacité des boulons A325 s'avère insuffisante pour résister aux efforts soumis sur l'assemblage. Les boulons F1852 et F2280 sont l'équivalent des A325 et A490 respectivement, mais à têtes arrondies (boulons « TC »). Les boulons ASTM A307 grade A ne peuvent résister au serrage par la méthode du tour de l'écrou et ils ne peuvent donc pas être utilisés dans les assemblages anti-glissements. Ils sont principalement utilisés comme ancrage et dans les dispositifs de retenue.

Lorsque des boulons à haute résistance F3125 sont employés, des écrous fabriqués selon la norme ASTM A563 ou ASTM A194 doivent être utilisés. De plus, les rondelles doivent être en acier trempé et répondre aux exigences de la norme ASTM F436.

Il existe deux méthodes de fabrication des boulons. Il s'agit des méthodes par roulage et par usinage (machinage). La première consiste à estamper les filets dans la tige à l'aide de moules et de puissantes presses. Une partie du métal de la tige est donc poussé vers l'intérieur et l'autre, vers l'extérieur. La figure 7.3-1 a) illustre la méthode par roulage des filets. La partie filetée a donc un diamètre extérieur supérieur à la partie non filetée. Pour l'usage à des fins de boulons de structure, cela n'est pas souhaitable, puisque le trou doit être surdimensionné afin de laisser passer les filets. Afin de remédier à ce problème, la tige dans la section où seront estampés les filets est réduite soit par usinage, soit par écrouissage afin que la partie filetée ait le même diamètre que la partie non filetée. C'est le cas des boulons respectant les normes F3125. En fait, les filets de ces boulons doivent être produits par roulage uniquement.

Les filets produits par usinage sont créés en découpant progressivement l'acier jusqu'à obtention du profil de filets désirés. Dans ce cas, le diamètre de la partie filetée sera le même que la partie non filetée. À noter que les écrous des boulons A325 doivent être machinés au bon diamètre de filets après la galvanisation.

Pour tous les autres grades de boulons et de tiges d'ancrage, la méthode de production des filets doit être spécifiée aux plans et devis. À défaut d'indication dans ces documents, elle est mentionnée à la norme 6201 du *Tome VII*. Dans le cas des tiges d'ancrages des glissières, comme ces éléments ne sont pas sujets à la fatigue, les filets peuvent être soit roulés avec réduction de la tige (figure 7.3-1 b), soit usinés (figure 7.3-1 c).

L'amélioration de la résistance à la fatigue des boulons roulés vient du phénomène d'écrouissage de l'acier dans la section des filets. Puisque les filets sont estampés dans l'acier de la tige, il se produit un remaniement des grains de l'acier rendant plus difficile la propagation des fissures.

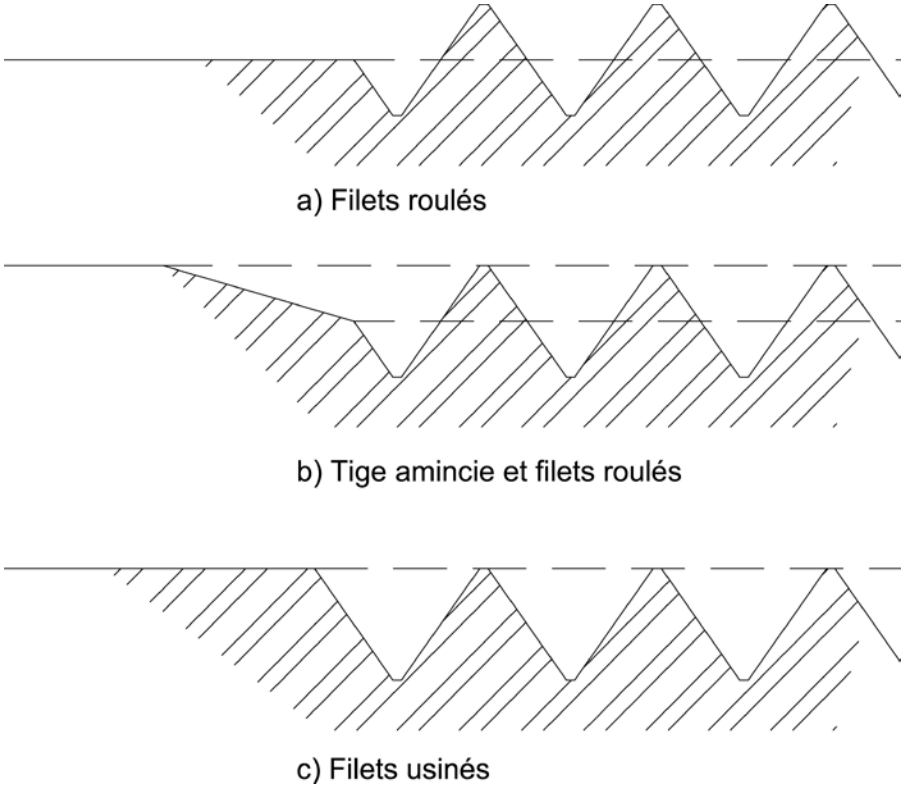


Figure 7.3-1 Méthode de production des filets

L'identification des boulons à haute résistance, des écrous et des rondelles est représentée à la figure 7.3-2. Pour les boulons, le symbole du fabricant, le grade et le type d'acier doivent être inscrits sur la tête du boulon conformément aux exigences de la norme. Les boulons à haute résistance A325 de type 1 avec fini galvanisé sont utilisés lorsque l'ouvrage en acier est réalisé avec de l'acier galvanisé ou métallisé alors que ceux de type 1 avec fini uni sont utilisés dans le cas de surfaces d'acier peinturées. Les boulons de type 3 sont employés lorsque l'ouvrage est fabriqué avec de l'acier résistant à la corrosion atmosphérique. Dans le cas d'une charpente en acier atmosphérique où viennent se fixer des éléments en galvanisés, les boulons seront généralement de type 1 et galvanisés, sauf si indiqué autrement aux plans et devis. Les boulons A490 ne sont jamais galvanisés en raison d'un risque de fragilisation à l'hydrogène, bien qu'il soit possible de galvaniser ce type de boulons, cela est très dispendieux.

Pour les écrous, le symbole du fabricant et celui du type d'acier doivent être inscrits sur chacun d'eux; le type DH (ASTM A563) et 2H (ASTM A194) doit être utilisé lorsque les boulons sont galvanisés.

Les tiges d'ancrage qui servent à retenir les garde-fous en acier et glissières de type 211A sont fabriquées à partir d'un acier conforme aux exigences de la norme CSA G40.20/G40.21, nuance 350W et sont par la suite galvanisées à chaud.

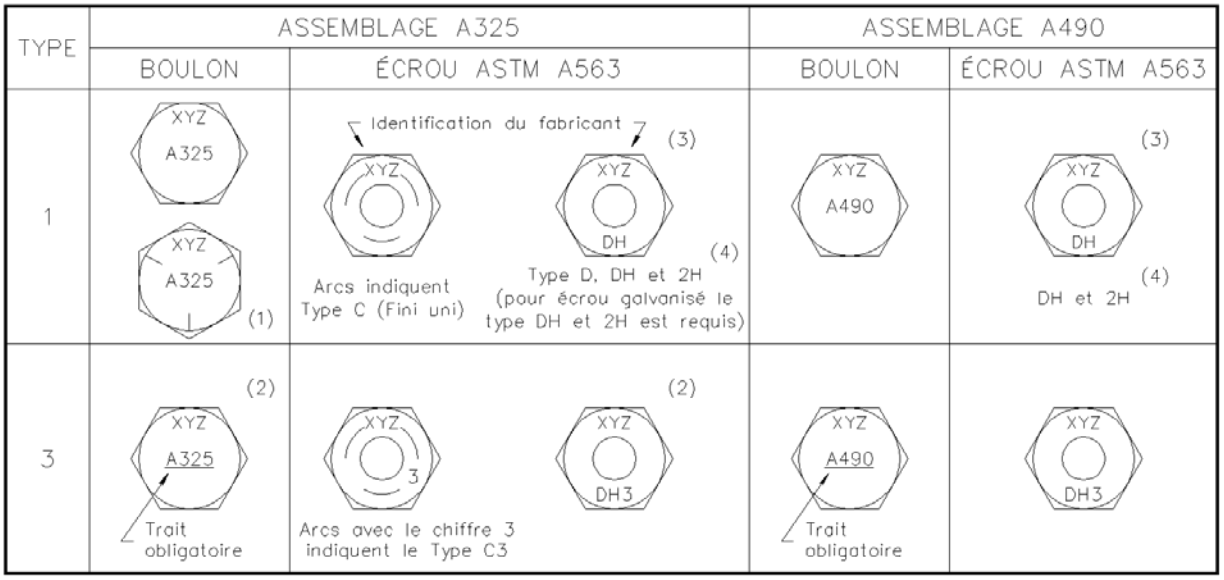
Les tiges d'ancrage utilisées pour retenir les glissières en acier sont, quant à elles, fabriquées à partir d'un acier à haute résistance, selon les exigences des normes ASTM F1554 grade 105 ou ASTM A449, type 1, en raison des sollicitations importantes imposées à ces éléments. Ces dernières sont également galvanisées à chaud. Il faut noter qu'en raison de la galvanisation à chaud, la limite élastique de ces alliages doit être inférieure à 1 035 MPa. Les tiges d'ancrage employées pour retenir les appareils d'appui sont fabriquées à partir d'un acier répondant à l'une de ces quatre normes, selon l'importance des efforts. Le choix étant laissé au concepteur des appareils d'appui.

Les tiges d'ancrages, peu importe leur grade ou nuance, doivent avoir une partie filetée et non filetée correspondant au diamètre nominal.

Lorsque les pièces à assembler sont métallisées ou lorsque des pièces galvanisées sont attachées à des pièces dont le système de protection anticorrosion est différent, des boulons galvanisés sont utilisés. Les boulons galvanisés sont munis d'écrous dont le filetage est usiné après galvanisation afin d'avoir un filetage de dimension supérieure de façon à faciliter le serrage et éviter ainsi une contrainte de torsion exagérée. Cet usinage est nécessaire pour permettre aux écrous de s'adapter aux boulons surdimensionnés par la galvanisation. De plus, les boulons et les écrous galvanisés doivent être cirés afin de faciliter le serrage. Cette cire doit être colorée pour permettre au surveillant d'en vérifier sa présence.

Goujons

Les goujons de cisaillement doivent être conformes à la norme CAN/CSA S6, qui réfère à l'annexe H de la norme W59. La norme S6 exige que les goujons soient de type B. Les goujons filetés, maintenant acceptés au CCDG pour la fixation des câbles de protection, doivent aussi être de type B. Aucune des nuances d'acier des goujons ne résiste à la corrosion atmosphérique, ce qui serait de toute façon inutile, car les goujons sont enfouis dans le béton de la dalle. Il ne faut donc pas se surprendre de voir des poutres fabriquées à partir d'un acier résistant à la corrosion atmosphérique avec des goujons qui ne le sont pas.



(1) Peut être marqué de trois traits radiaux, chacun espacé de 120°.
(2) Peut être marqué d'autres signes distinctifs additionnels afin de souligner qu'il est fait à partir d'acier à résistance améliorée à la corrosion.
(3) Le type 3 est aussi acceptable.
(4) Le type 2H de la norme ASTM A194 est acceptable.

Rondelle en acier trempé :
L'identification du fabricant doit être indiquée. Le chiffre 3 (ou un symbole équivalent) doit être indiqué dans le cas d'acier à résistance améliorée à la corrosion.

Figure 7.3-2 Identification des boulons à haute résistance

7.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*.

7.4.1 Acier de construction

7.4.1.1 Certification de l'entreprise et qualification du personnel effectuant les soudures

Certification de l'entreprise de soudage

L'entreprise chargée d'effectuer les travaux de soudage, en usine ou au chantier, doit être certifiée par le Bureau canadien de soudage en vertu des exigences de la norme CSA W47.1. Il est exigé au CCDG que l'entreprise soit certifiée selon

la division 1 ou 2; cependant, la division 3 est suffisante pour les drains, les drains d'interface et les soudures d'étanchéité au droit des joints d'assemblage boulonnés des joints de tablier.

Des exigences plus sévères peuvent toutefois être indiquées dans le devis spécial. En effet, pour un pont dont une des portées excède 45 m, un pont à poutres continues de hauteur variable ou tout autre pont non courant, la division 1 est habituellement demandée.

Pour être certifiée dans la division 1, l'entreprise doit avoir à son service à temps plein au moins un ingénieur en soudage qualifié selon les exigences de la norme CSA W47.1. Pour être certifiée dans la division 2, l'entreprise doit retenir à temps partiel les services d'un ingénieur en soudage qualifié selon les exigences de cette même norme. De plus, pour être certifiée dans la division 1 ou 2, elle doit aussi employer à temps plein au moins un superviseur en soudage qualifié, responsable de la surveillance du soudage, selon les exigences de la même norme.

Pour être certifiée dans la division 3, l'entreprise doit avoir à son service à temps plein au moins un superviseur qualifié, responsable de la surveillance du soudage, selon les exigences de la norme CSA W47.1.

Le surveillant peut vérifier sur le site Internet du Bureau canadien de soudage si l'entreprise chargée des travaux de soudage proposé par l'entrepreneur est certifiée pour la division demandée; voici le lien pertinent vers le Bureau canadien de soudage :

https://www.cwbgroup.org/

Qualification du personnel effectuant les soudures

Les soudeurs, les pointeurs et les opérateurs de machine à souder doivent être qualifiés selon les exigences de la norme CSA W47.1. De plus, ils doivent être qualifiés selon les soudures à exécuter (position, type d'électrode, procédé de soudage).

Les cartes de compétence valides délivrées par le Bureau canadien de soudage doivent être vérifiées par le surveillant avant le début des travaux de soudage. Mentionnons que les cartes de compétence peuvent être transférables ou non; lorsqu'il a une carte transférable, le soudeur (ou l'opérateur de machine à souder ou le pointeur) peut travailler pour une autre entreprise certifiée que celle dont le nom est indiqué sur sa carte de compétence.

La figure 7.4-1 montre un exemple de carte de compétence délivrée par le Bureau canadien de soudage.


BUREAU CANADIEN DE SOUDAGE
Cette carte est valide uniquement lorsque le soudeur est à l'emploi d'une compagnie certifiée par le CWB
Rapport de qualification transférable pour soudeur
Nom: YVON SÉNÉCHAL Date d'exp: Oct 17, 2008
Employeur: Ateliers B.F.R. Inc., Maple-Grove
Norme: CSA W47.1-03 Matériau: Acier inoxydable
Procédé: SMAW Mode: Manuel
Mode de transfert: N/A
Classe: Plat/Horizontale/Verticale(M)/Plafond
Catégorie: S Électrode: F4
Gamme d'épaisseur: 3 mm et plus

Figure 7.4-1 Carte de compétence d'un soudeur

7.4.1.2 Attestation de conformité

Pour chaque livraison d'acier chez le fabricant et pour chaque lot de production, l'entrepreneur doit fournir au surveillant une attestation de conformité contenant l'information demandée dans le CCDG.

Pour des travaux de fabrication d'un ouvrage en acier neuf en usine, l'attestation de conformité est souvent remise au laboratoire mandaté par la DCQM pour le suivi des travaux. Pour des travaux de réparation, celle-ci est remise par l'entrepreneur au surveillant lorsque la DCQM n'effectue pas de contrôle en usine.

Selon les spécifications du devis spécial relatives à l'essai de résilience Charpy, les exigences thermiques et énergétiques doivent être conformes à la norme CAN/CSA S6. La température d'essai retenue et la désignation des membrures concernées apparaissent dans le devis spécial. **Le surveillant doit vérifier la conformité de ces températures avec celles de l'attestation de conformité.**

7.4.1.3 Contrôle de réception

Dans le cas où des travaux de soudage sont prévus au chantier lors de travaux de réparation, le surveillant devrait mandater la DCQM (par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) pour effectuer un contrôle de réception de l'acier de construction livré au chantier au moyen d'un prélèvement d'échantillons. Cette précaution est nécessaire pour vérifier les propriétés mécaniques ainsi que la soudabilité de l'acier ajouté, puisque la provenance de l'acier est souvent difficile à établir. Dans les autres cas, le contrôle devrait être fait à l'usine où l'acier est découpé, car les pièces en acier arrivent souvent au chantier dans leurs dimensions finales.

7.4.2 Aluminium

L'utilisation de l'aluminium dans les structures routières, autres que dans les structures de signalisation, est très peu répandue. Dans le cas où un projet comportait de telles structures, la Direction générale des structures pourra vous porter assistance.

7.4.3 Boulons, tiges d'ancrage, écrous et rondelles en acier

7.4.3.1 Attestation de conformité

Pour chaque livraison de boulons, de tiges d'ancrage, d'écrous et de rondelles en acier, l'entrepreneur doit fournir au surveillant une attestation de conformité contenant l'information indiquée au CCDG pour chaque lot de production de chacune des pièces. Mentionnons que les informations apparaissant sur les contenants de boulons assemblés ne sont pas une attestation de conformité. L'attestation de conformité est transmise par le fournisseur de boulons assemblés à l'acheteur des boulons, soit généralement le fabricant de l'ouvrage en acier et non pas l'entreprise chargée du montage. Puisqu'il existe une certaine confusion à ce niveau, le surveillant pourrait avoir besoin de préciser à l'entrepreneur non seulement que l'attestation de conformité doit lui être transmise, mais aussi que celle-ci se trouve probablement dans les dossiers du fabricant de l'ouvrage.

Dans le cas des assemblages boulonnés, qui doivent être soumis à un serrage par rotation de l'écrou, les boulons, écrous et rondelles doivent être livrés sur le chantier assemblés dans des contenants scellés à l'usine du fournisseur. L'identification de chaque contenant doit comprendre le numéro de lot de production des boulons assemblés ainsi que les principales caractéristiques des boulons, des écrous et des rondelles. Précisons qu'un lot de boulons assemblés (par un distributeur) est constitué de tiges, d'écrous et de rondelles dont chacun provient d'un lot de production (coulée d'acier) distincts et parfois même de fabricants distincts. Ceci signifie que pour chaque lot de boulons, toutes les rondelles, tous les écrous et toutes les tiges doivent chacun provenir d'un même lot de production. Dans le cas de boulons galvanisés, l'attestation de conformité doit porter clairement la mention que l'essai de capacité de rotation (« *rotational capacity test* ») a été réalisé par le fournisseur des boulons. Cet essai est de plus exigé pour les boulons A325 et F1852. Les boulons A490 et F2280 n'ont pas à subir cet essai puisqu'ils ne peuvent être galvanisés.

7.4.3.2 Contrôle de réception

Le contrôle de réception des boulons, des écrous et des rondelles doit se faire au chantier selon les exigences du CCDG pour les boulons soumis à un serrage de rotation de l'écrou. Le surveillant doit s'assurer que les contenants livrés au chantier n'ont pas été descellés avant leur arrivée au chantier. Cette mesure vise à s'assurer que leur contenu n'a pas été modifié ou manipulé sans contrôle et que les boulons sont dans le même état qu'à leur sortie de l'usine.

Avant de commencer la pose des boulons, l'entrepreneur doit vérifier, au moyen d'un appareil d'étalonnage (tensiomètre ou Skidmore-Wilhelm), que la tension minimale exigée au serrage final, en appliquant la méthode de la rotation de l'écrou (voir section 7.6.1.1), sera atteinte. Il s'agit en fait de valider les conditions de pose prévues dans la procédure de boulonnage soumise par l'entrepreneur. L'entrepreneur doit vérifier la tension sur trois boulons assemblés par le fournisseur (boulon, écrou et rondelle), pour chaque lot de production de boulons assemblés (même désignation ASTM, même type, mêmes dimensions, même caractéristique anticorrosive et même coulée d'acier pour chacun des composants). Comme la quantité de lots de boulons peut être considérable pour certains chantiers, le surveillant doit commencer le contrôle de réception le plus tôt possible afin d'éviter tout retard associé au rejet d'un ou plusieurs lots de production de boulons assemblés. Il est important de s'assurer que les boulons posés proviennent d'un même assemblage, c'est-à-dire que les boulons, rondelles et écrous ne soient pas interchangés lors des étapes de boulonnage. Il arrive parfois que les monteurs, par souci d'efficacité, désassemblent les boulons et regroupent tous les écrous ensemble, toutes les rondelles ensemble et tous les boulons ensemble peu importe leurs provenances. Ce sont les assemblages qui subissent les contrôles de réception et non par les éléments considérés individuellement.

Le contrôle de réception doit être fait en présence du surveillant.

Les boulons devant servir pour le contrôle de réception sont choisis par le surveillant dans des contenants choisis au hasard parmi ceux livrés au chantier. Comme il est interdit de réutiliser des boulons ayant été serrés une première fois, les boulons qui ont servi aux contrôles de réception doivent être jetés ou réutilisés comme boulons temporaires.

Rappelons que la vérification d'au moins un lot de production de boulons assemblés (boulon, écrou et rondelle) doit se faire au cours de la réunion préalable au boulonnage des boulons des joints de chantier des poutres principales. La vérification des autres lots de production de boulons assemblés déjà livrés au chantier devrait se faire le plus rapidement possible après cette réunion préalable, et bien avant le début du boulonnage, afin de notamment permettre à l'entrepreneur d'éviter tout retard associé au rejet d'un ou plusieurs lots de production de boulons assemblés. De plus, cette façon de procéder permet d'éviter toute confusion entre des contenants de boulons assemblés dont la vérification est faite et d'autres contenants où ce n'est pas encore le cas. Le surveillant se doit aussi d'être vigilant lorsque des boulons assemblés sont livrés au chantier après le début du boulonnage pour éviter le même genre de confusion. Bref, il est important que le surveillant s'assure que l'entrepreneur gère correctement son inventaire de boulons assemblés au chantier.

La figure 7.4-2 montre le formulaire F312.1 « Contrôle de réception des boulons » que le surveillant doit remplir, pour chaque lot de production de boulons assemblés (boulon, écrou et rondelle), au moment même où l'entrepreneur fait la vérification des boulons. Le surveillant doit y noter, pour chaque boulon assemblé (boulon, écrou et rondelle) testé, la tension mesurée au tensiomètre.

Ces mesures sont effectuées à trois reprises : d'abord pour le serrage à bloc, ensuite au serrage final et finalement, au serrage final plus 30°.

Une fois le formulaire complété par le surveillant, ce dernier doit en donner une copie à l'entrepreneur afin que celui-ci l'annexe à l'avis que son ingénieur a à fournir après le serrage final d'un joint de chantier d'une poutre principale ainsi que celui des autres assemblages

La vérification de la tension minimale des boulons assemblés permet de s'assurer que la friction entre le boulon et l'écrou n'est pas trop grande et de confirmer la méthode de serrage à bloc proposée par l'entrepreneur dans la procédure de boulonnage. Cette vérification permet de s'assurer que les filets ne s'endommagent pas lors du serrage et surtout d'avoir un serrage qui ne correspond pas à la tension exigée dans le boulon. Une friction trop grande entre le boulon et l'écrou peut se produire pour plusieurs raisons :

- une incompatibilité entre les boulons et les écrous causée par des problèmes de production ou par le fait qu'ils proviennent de fabricants différents;
- une plus ou moins grande efficacité du lubrifiant employé sur les boulons galvanisés;
- un usinage après galvanisation mal effectué des filets, des écrous, et des boulons galvanisés;
- un mauvais entreposage au chantier des boulons, assemblés; se référer à ce sujet aux indications relatives à l'entreposage des boulons mentionnées plus haut.

Après s'être assuré que les conditions de pose sont représentatives de celles rencontrées sur le pont (boulons, écrous et rondelles de mêmes dimensions ainsi que le même nombre de rondelles), chaque boulon assemblé « boulon, écrou et rondelle » est placé dans le tensiomètre; il faut ensuite procéder comme suit :

- utiliser des fourrures en acier suffisamment rigides pour ne pas se déformer lors du serrage lorsque la longueur des boulons à tester l'exige. Il faut réduire le nombre de fourrures au minimum et s'assurer qu'elles sont parfaitement en contact entre elles et que l'extrémité du boulon est minimalement au niveau de l'écrou. L'utilisation de rondelles en acier de boulons assemblés n'est pas permise en remplacement de ces fourrures. Ces exigences du devis spécial sont nécessaires pour éviter le rejet d'un lot de boulons assemblés en raison d'un mauvais comportement de l'assemblage placé dans le tensiomètre;
- le boulon est serré à bloc selon la méthode prévue à la procédure de boulonnage. Si la tension induite n'est pas égale à 15 % ± 3 % de la tension minimale exigée, l'entrepreneur doit réviser sa procédure de boulonnage et recommencer le serrage à bloc;
- le marquage du boulon et de l'écrou est effectué;
- le boulon est ensuite serré au serrage final et finalement au serrage final plus 30º (selon la méthode de rotation de l'écrou).

Exemple n° 1 :

- Boulon ASTM F3125 de grade A325 :
  - *diamètre :* *¾ pouce*
  - *aire du boulon :* *215.8 mm^2 (n = 10 filets/po) (ASTM A325; As = 0.7854 [D – 24.7472/n]^2)*
  - *longueur :* *3 ¼ pouces*
  - *angle de rotation lors du serrage final :* *½ de tour (voir la figure 7.4-2)*
  - *tension minimale exigée :* *28 000 livres (voir la figure 7.4-2)*
- Résultats au tensiomètre
  - *serrage final :* *37 000 livres*
  - *serrage final plus 30°:* *41 000 livres*
- Rotation exigée
  - *le serrage final peut donc s'effectuer entre ½ tour et ½ tour plus 30°*

Exemple n° 2 :

- Boulon ASTM F3125 de grade A325 :
  - *diamètre :* *7/8 pouce*
  - *aire du boulon :* *298.7 mm^2 (n = 9 filets/po) (ASTM A325; As = 0.7854 [D – 24.7472/n]^2)*
  - *longueur :* *2¾ pouces*
  - *angle de rotation lors du serrage final :* *1/3 de tour (voir la figure 7.4-2)*
  - *tension minimale exigée :* *39 000 livres (voir la figure 7.4-2)*
- Résultats au tensiomètre
  - *serrage final :* *40 000 livres*
  - *serrage final plus 30 :* *47 000 livres*
- Rotation exigée
  - *le serrage final doit donc s'effectuer entre 1/3 de tour et 1/3 de tour plus 30°*

En ce qui concerne l'essai de capacité de rotation sur les boulons galvanisés, il n'est plus réalisé en chantier lors du contrôle de réception, car les outils courants de chantier n'ont pas la capacité d'exécuter adéquatement cet essai. Comme cet essai doit être préalablement exécuté par le distributeur, en conformité avec la norme ASTM F3125, il est exigé que l'attestation de conformité en atteste la réussite. Dans le cas contraire, le lot doit être refusé.

En référence aux essais cités précédemment, le lot de production de boulons (galvanisés ou non) assemblés est jugé non conforme lorsque la tension mesurée après le serrage final d'un des 3 boulons assemblés est inférieure à la tension minimale exigée.

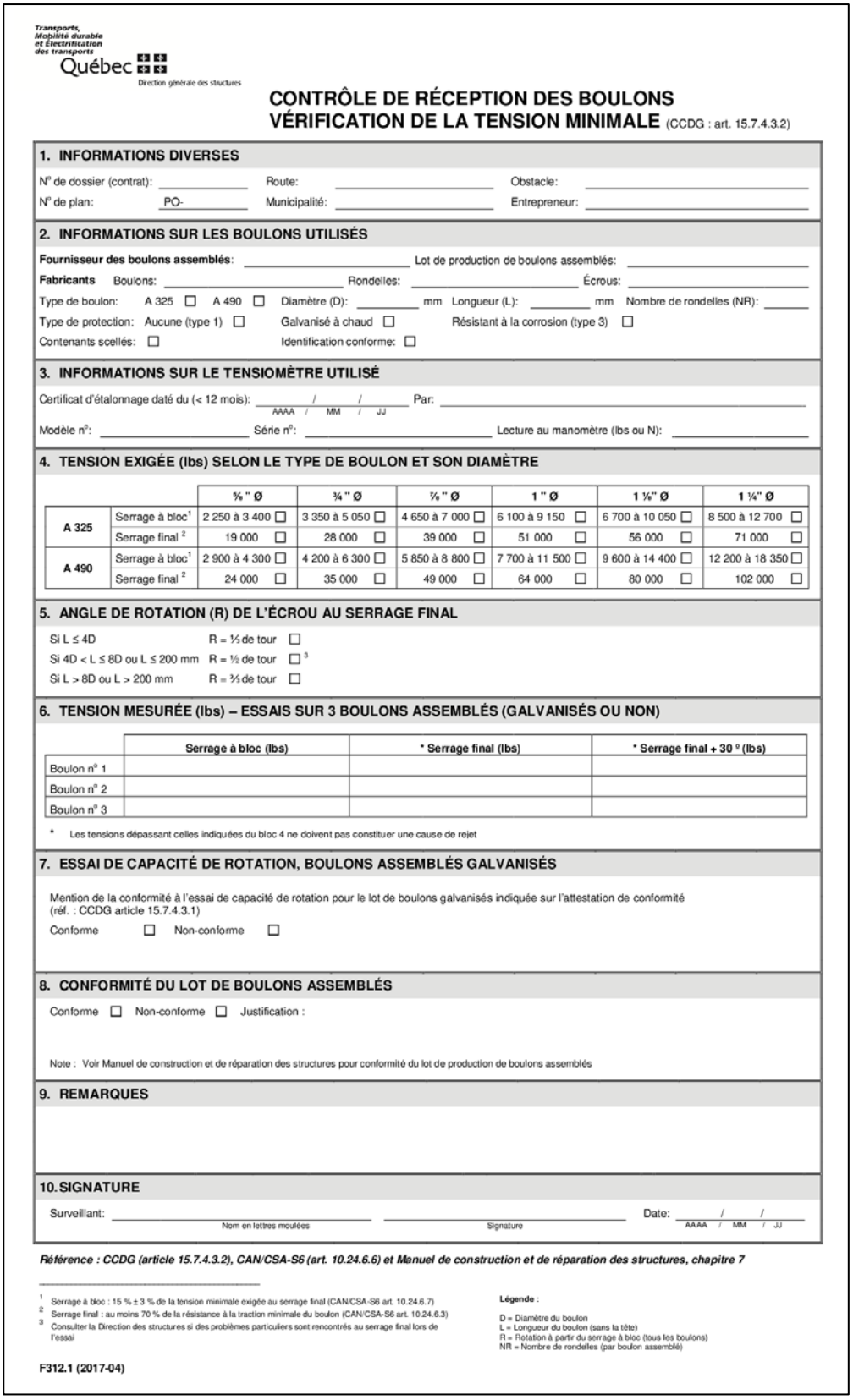
Le surveillant devrait alors faire immédiatement mettre de côté tous les contenants de boulons assemblés du lot de production non conforme afin d'éviter toute utilisation accidentelle de ces boulons.

Il faut cependant préciser qu'il est assez peu fréquent que des lots de boulons ne réussissent pas les tests du contrôle de réception. Dans les cas où cela se produit, le surveillant doit chercher la cause de cet échec.

Si la tension minimale n'est pas obtenue lors du serrage, il est possible, dans le cas où les boulons sont très longs, que l'entrepreneur ait utilisé plusieurs rondelles standards de l'autre côté du montage. Lors du serrage final, cela fait beaucoup de plans de contacts qui doivent être comprimés avant de développer la tension finale. Plusieurs plaques d'acier durcies et de plusieurs épaisseurs sont fournies avec le tensiomètre. Lors des essais, l'entrepreneur doit chercher à utiliser un nombre minimal de ces plaques. Il doit donc commencer par les plaques les plus épaisses.

S'il se produit une rupture des boulons, trois causes principales sont possibles :

- une friction trop importante entre l'écrou et les filets, ou entre l'écrou et la rondelle, peut mener à une rupture en torsion de la partie filetée. Il faut donc vérifier la propreté, la rugosité ainsi que la lubrification des filets de ces deux composantes;
- une rupture en torsion peut également se produire lorsque le boulon est trop long et que l'écrou se rend jusqu'à la partie non filetée de la tige avant que ne soit terminée la pleine rotation. Cela se remarque lorsque la partie filetée excédant l'écrou est égale à la hauteur de ce dernier. En effet, la longueur de la partie filetée est légèrement moins importante que le double de la hauteur de l'écrou;
- dans le cas d'une rupture en traction, il possible que les filets soient de type machiné et que ces derniers aient des arêtes trop vives. À ce titre, la norme 6201 du Ministère exige que les filets des boulons ASTM F3125 soient roulés. Également, il est possible que le grade des boulons ne soit pas adéquat. En effet, seuls les boulons ASTM F3125 sont en mesure de développer la tension produite par la méthode du tour de l'écrou.



Transports, Mobilité durable et Électrification des transports
Québec
Direction générale des structures

CONTRÔLE DE RÉCEPTION DES BOULONS
VÉRIFICATION DE LA TENSION MINIMALE (CCDG : art. 15.7.4.3.2)

1. INFORMATIONS DIVERSES

N° de dossier (contrat): _____ Route: _____ Obstacle: _____

N° de plan: PO- _____ Municipalité: _____ Entrepreneur: _____

2. INFORMATIONS SUR LES BOULONS UTILISÉS

Fournisseur des boulons assemblés: _____ Lot de production de boulons assemblés: _____

Fabricants Boulons: _____ Rondelles: _____ Écrous: _____

Type de boulon: A 325 ☐ A 490 ☐ Diamètre (D): _____ mm Longueur (L): _____ mm Nombre de rondelles (NR): _____

Type de protection: Aucune (type 1) ☐ Galvanisé à chaud ☐ Résistant à la corrosion (type 3) ☐

Contenants scellés: ☐ Identification conforme: ☐

3. INFORMATIONS SUR LE TENSIOMÈTRE UTILISÉ

Certificat d'étalonnage daté du (< 12 mois): _____ / _____ / _____ Par: _____
AAAA / MM / JJ

Modèle n°: _____ Série n°: _____ Lecture au manomètre (lbs ou N): _____

4. TENSION EXIGÉE (lbs) SELON LE TYPE DE BOULON ET SON DIAMÈTRE

		⅞ " Ø	¾ " Ø	⅞ " Ø	1 " Ø	1 ⅛" Ø	1 ¼" Ø
A 325	Serrage à bloc[1]	2 250 à 3 400 ☐	3 350 à 5 050 ☐	4 650 à 7 000 ☐	6 100 à 9 150 ☐	6 700 à 10 050 ☐	8 500 à 12 700 ☐
	Serrage final [2]	19 000 ☐	28 000 ☐	39 000 ☐	51 000 ☐	56 000 ☐	71 000 ☐
A 490	Serrage à bloc[1]	2 900 à 4 300 ☐	4 200 à 6 300 ☐	5 850 à 8 800 ☐	7 700 à 11 500 ☐	9 600 à 14 400 ☐	12 200 à 18 350 ☐
	Serrage final [2]	24 000 ☐	35 000 ☐	49 000 ☐	64 000 ☐	80 000 ☐	102 000 ☐

5. ANGLE DE ROTATION (R) DE L'ÉCROU AU SERRAGE FINAL

Si L ≤ 4D R = ⅓ de tour ☐

Si 4D < L ≤ 8D ou L ≤ 200 mm R = ½ de tour ☐ [3]

Si L > 8D ou L > 200 mm R = ⅔ de tour ☐

6. TENSION MESURÉE (lbs) – ESSAIS SUR 3 BOULONS ASSEMBLÉS (GALVANISÉS OU NON)

	Serrage à bloc (lbs)	* Serrage final (lbs)	* Serrage final + 30 º (lbs)
Boulon n° 1			
Boulon n° 2			
Boulon n° 3			

* Les tensions dépassant celles indiquées du bloc 4 ne doivent pas constituer une cause de rejet

7. ESSAI DE CAPACITÉ DE ROTATION, BOULONS ASSEMBLÉS GALVANISÉS

Mention de la conformité à l'essai de capacité de rotation pour le lot de boulons galvanisés indiquée sur l'attestation de conformité (réf. : CCDG article 15.7.4.3.1)

Conforme ☐ Non-conforme ☐

8. CONFORMITÉ DU LOT DE BOULONS ASSEMBLÉS

Conforme ☐ Non-conforme ☐ Justification :

Note : Voir Manuel de construction et de réparation des structures pour conformité du lot de production de boulons assemblés

9. REMARQUES

10. SIGNATURE

Surveillant: _____ (Nom en lettres moulées) _____ (Signature) Date: _____ / _____ / _____ (AAAA / MM / JJ)

Référence : CCDG (article 15.7.4.3.2), CAN/CSA-S6 (art. 10.24.6.6) et Manuel de construction et de réparation des structures, chapitre 7

1 Serrage à bloc : 15 % ± 3 % de la tension minimale exigée au serrage final (CAN/CSA-S6 art. 10.24.6.7)
2 Serrage final : au moins 70 % de la résistance à la traction minimale du boulon (CAN/CSA-S6 art. 10.24.6.3)
3 Consulter la Direction des structures si des problèmes particuliers sont rencontrés au serrage final lors de l'essai

Légende :

D = Diamètre du boulon
L = Longueur du boulon (sans la tête)
R = Rotation à partir du serrage à bloc (tous les boulons)
NR = Nombre de rondelles (par boulon assemblé)

F312.1 (2017-04)

Figure 7.4-2 Formulaire de vérification des boulons

Mentionnons aussi que l'entrepreneur devrait répartir les contenants de boulons selon les différents joints de chantier des poutres principales de façon ordonnée de manière à faciliter la traçabilité des lots de production de boulons assemblés sur l'ouvrage en cas de problème. Le surveillant devrait demander à l'entrepreneur, avant de commencer la pose des boulons, la répartition qu'il se propose de faire afin qu'il puisse tenir un registre le plus exact possible de cette répartition.

7.4.4 Attestation de conformité des goujons

Pour chaque livraison de goujons, l'entrepreneur doit fournir au surveillant une attestation de conformité et les résultats des analyses et des essais démontrant que les goujons respectent les exigences de la norme CAN/CSA S6. De plus, le fabricant des goujons utilisés doit être qualifié spécifiquement pour la fabrication des goujons par le Bureau canadien de soudage**.**

Pour des travaux de fabrication d'un ouvrage en acier neuf en usine, l'attestation de conformité est souvent remise au laboratoire mandaté par la DCQM pour le suivi des travaux. Pour des travaux de réparation, celle-ci est remise par l'entrepreneur au surveillant lorsque la DCQM n'effectue pas de contrôle en usine.

7.5 FABRICATION

Il est important de mentionner qu'il est interdit au CCDG de cambrer (courbure verticale) ou de cintrer (courbure horizontale) à la chaleur les poutres assemblées à âme pleine. Cette exigence s'impose compte tenu des problèmes associés à cette pratique comme des déformations permanentes non désirées.

Avant le départ des pièces de l'usine, le nettoyage exigé au CCDG est particulièrement important pour les ouvrages fabriqués à partir d'acier A ou AT, non recouverts d'un revêtement anticorrosion (peinture, métallisation), dans le but de faire disparaître la calamine, les liquides de coupe et de perçage, ainsi que toutes huiles et saletés ce qui permet d'amorcer le processus d'autoprotection de façon efficace et uniforme.

De plus, une fois la fabrication terminée, la préparation des surfaces d'acier des assemblages boulonnés est effectuée en usine, selon les exigences de l'article 15.7.6.1 « Joints boulonnés » du CCDG. Le surveillant doit consulter la partie 7.6.1 « Joints boulonnés » de ce chapitre pour plus de détails.

<u>Redressement des pièces</u>

Bien que l'article 10.24.4.4 de la norme CAN/CSA S6 permette le redressement de pièces courbées ou pliées par accident, par exemple lors de leur manipulation, il est important de rappeler que cette pratique est interdite au CCDG pour la fabrication des pièces. Le recours à cet article par l'entrepreneur est encadré au devis spécial; en effet, il y est demandé que l'entrepreneur présente au surveillant, au moins 2 jours avant le

redressement, une procédure de redressement signée par un ingénieur. La procédure doit être analysée par le surveillant avant d'autoriser par écrit l'entrepreneur à procéder au redressement.

Le surveillant se doit d'être présent lors du redressement compte tenu des risques d'endommagement permanent associés à ce genre de travaux; il en est de même pour l'ingénieur qui a signé la procédure de redressement. Une fois les travaux terminés, l'entrepreneur doit remettre au surveillant, avant le transport des pièces vers le chantier, un avis signé par cet ingénieur confirmant que les travaux de redressement ont été réalisés selon la procédure soumise.

Lors des opérations de soudage des semelles et des raidisseurs, il se produit presque inévitablement un certain voilement de l'âme. Les tolérances pour ces voilements sont définies dans la norme CSA W59. Les conceptions courantes ne considèrent que très rarement les âmes comme étant raidies, bien qu'il y ait présence de raidisseurs aux contreventements. C'est pourquoi, sauf indication contraire du concepteur, les tolérances doivent être celles des âmes non raidies apparaissant au tableau J3 de l'annexe J de la norme CSA W59. Dans le cas où ces tolérances ne seraient pas respectées, le fabricant devra proposer une procédure de correction des âmes. Cette dernière pourra être transmise au concepteur pour commentaires.

7.5.1 Réunion préalable

La réunion préalable à la fabrication des poutres assemblées est une étape préparatoire importante, puisqu'elle permet de regrouper tous les intervenants afin de planifier adéquatement les travaux et de passer en revue les plans d'atelier ainsi que les exigences du devis technique. Cette réunion est organisée par le surveillant; en plus de l'entrepreneur et de l'entreprise chargée par ce dernier de la fabrication de l'ouvrage en acier, le surveillant se doit d'inviter le concepteur et le représentant de la DCQM (par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services). Voici un ordre du jour typique d'une réunion préalable à la fabrication. Ce dernier est exhaustif et peut être adapté à la réalité du projet.

<u>ORDRE DU JOUR – RÉUNION PRÉALABLE À LA FABRICATION</u>

1. Présentation des participants
2. Communication
3. Description du mandat
4. Responsabilité du surveillant
5. Responsabilité du représentant du surveillant en usine
6. Plans, devis et exigences du CCDG
   6.1. Marquage des pièces
   6.2. Contrôle des soudures
   6.3. Prémontage en usine
   6.4. Autorisation de livraison

7. Plans d'atelier
8. Fournisseurs et sous-traitants
   8.1. Matériaux
   8.2. Essais non destructifs
   8.3. Revêtements
   8.4. Transport
   8.5. Montage
9. Documents requis
   9.1. Plan qualité – Assurance qualité – PRIE
   9.2. Cartes de compétences du personnel affecté aux soudages
   9.3. Laboratoire et inspecteurs
   9.4. Procédures de soudage et feuilles de données
   9.5. Liste d'ouvrages similaires réalisés par le fabricant
   9.6. Qualification et expériences du procédé SAW
   9.7. Attestations de conformité
10. Traitement des non conformités
11. Échéancier de fabrication
12. Prochaine réunion
13. Varia
14. Visite de l'usine

Il est important de mentionner que la réunion n'a lieu qu'une fois les plans d'atelier visés par le concepteur et, lorsque les travaux sont confiés en tout ou en partie par le fabricant à un ou à des sous-traitants, après la remise au surveillant de la liste de ses sous-traitants. La première exigence est nécessaire, car le but de la réunion est de parler de la fabrication des poutres et non pas du contenu des documents requis; De plus, cette façon de faire nous assure d'avoir tous les documents valides au début de la fabrication. La deuxième exigence, quant à elle permet de savoir si le fabricant procédera lui-même à la fabrication ou non; Cela permet d'organiser et de planifier correctement la surveillance en usine et, comme cela est exigé au CCDG, de faire une réunion préalable à l'usine de chacun de ses sous-traitants. Ce dernier point est important, car la pratique nous a enseigné que l'on ne peut pas toujours se fier au fabricant pour informer adéquatement ses sous-traitants des exigences du Ministère.

7.5.2 Découpage

Le présent chapitre ne traite pas du découpage des pièces métalliques en usine.

Pour des travaux de découpage qui pourraient s'effectuer au chantier dans le cadre d'un projet de réparation, le découpage au chalumeau doit être approuvé par le surveillant. La méthode proposée doit minimalement assurer d'avoir des lignes de coupe rectilignes, qu'environ 3-5 mm d'acier sera enlevé par meulage et que les arêtes auront un rayon d'environ 1,5 mm. Les surfaces d'acier environnantes doivent aussi être protégées des éclaboussures. La solution de remplacement généralement employée consiste à utiliser une scie portative. À la suite du découpage, il ne faut pas

oublier d'enlever toutes les bavures et les déformations sur les bords des plaques ainsi que d'arrondir les arêtes vives selon un rayon de 1,5 mm conformément aux exigences du CCDG afin d'optimiser la durabilité du revêtement anticorrosion. Le découpage au chalumeau au chantier est permis pour la démolition complète d'un ouvrage, car on n'a pas à se préoccuper de ce genre d'opération. Il en est de même pour l'arasement des pieux, car la partie des pieux ainsi arasés est ensuite enfouie dans le béton des semelles. Dans le cas des joints soudés des pieux, le découpage au chalumeau est permis dans la mesure où la méthode utilisée est compatible avec la procédure de soudage pertinente.

Il est important de mentionner que le marquage des pièces au moyen d'un poinçon n'est plus exigé de façon obligatoire au CCDG à cause des problèmes de lecture occasionnés par le revêtement anticorrosion. L'inscription du numéro de coulée des pièces sur les plans d'atelier « tels que construits » est utilisée en remplacement du poinçon (ou des étiquettes code-barre utilisées en usine par certains fabricants) pour référencer les pièces découpées (par numéro de coulée). Par contre, les petites pièces (contreventements, les diaphragmes et les plaques des joints d'assemblage) doivent être identifiées pour faciliter le montage; cette identification peut prendre la forme d'un marquage, mais plus souvent la forme d'étiquettes attachées aux pièces.

7.5.3 Perçage

Les ébarbures présentes autour des trous après le perçage doivent être enlevées, puisqu'elles peuvent nuire à l'étanchéité de l'assemblage et au comportement des joints de type antiglissement en raison du mauvais contact entre les pièces assemblées. Il est nécessaire de nettoyer les surfaces d'acier au solvant si de l'huile est utilisée lors du perçage.

De plus, il est exigé à la norme CAN/CSA S6 que le diamètre final des trous doit être de 2 mm plus grand que le diamètre nominal du boulon, sauf si les plans contiennent d'autres indications.

Les distances entre les trous et par rapport à la rive des plaques sont gouvernées par les critères de conception ainsi que pour assurer l'étanchéité de l'assemblage. En raison des efforts à transmettre d'une pièce à l'autre, le concepteur doit choisir le diamètre des boulons ainsi que leur nombre. Il doit par la suite déterminer la géométrie de l'assemblage. Pour des raisons de résistance, il peut être avantageux d'allonger l'assemblage, cependant, la norme CSA S6 indique un maximum d'espacement afin que la pression entre les plaques générée par les boulons soit telle qu'elle empêche l'humidité de pénétrer dans la connexion et d'amorcer la corrosion.

Le perçage au chantier doit être effectué au moyen d'une mèche de type « emporte-pièce » et d'un gabarit métallique; l'utilisation du chalumeau est interdite afin d'éviter d'avoir des trous plus ou moins ronds et dont le diamètre ne respecte pas les exigences. Le perçage des trous non spécifiés dans les plans et devis est lui aussi interdit. Dans le cas d'un ouvrage existant, les nouvelles pièces ne peuvent pas être

percées en usine, car, même en possession des plans d'atelier de l'ouvrage, il n'est jamais certain que celles-ci aient été fabriquées exactement comme cela est indiqué sur ces plans. Durant le perçage, la foreuse est habituellement fixée à la pièce au moyen d'un électro aimant afin d'assurer la stabilité de l'outil ainsi que la perpendicularité des trous. Il est recommandé, si possible, que la pièce démantelée serve de gabarit pour la fabrication de la nouvelle pièce.

7.5.4 Soudures

Cette partie du chapitre traite uniquement des soudures réalisées au chantier.

Les assemblages soudés sont généralement réalisés en usine; les soudures au chantier sont donc réduites au strict minimum, puisque les assemblages boulonnés sont plus faciles à réaliser et à contrôler dans les conditions plus difficiles d'un chantier (température, humidité, vent, préparation des surfaces).

Toutes les soudures réalisées au chantier sont indiquées dans les plans scellés ou visés par le concepteur et elles se limitent souvent aux pieux, aux appareils d'appui et aux joints de tablier. Il est par conséquent interdit d'effectuer une soudure non montrée dans ces plans; il est également strictement interdit de faire des soudures temporaires sur des éléments permanents. Cette interdiction est indiquée à l'article 15.15 « Dispositions diverses » du CCDG. Le soudage des appareils d'appui à la semelle inférieure des poutres principales (et dans certains cas à la plaque d'assise des appareils d'appui à élastomère confiné) est réalisé au chantier afin de faciliter leur ajustement en fonction de la localisation finale des poutres. Les soudures effectuées entre les diverses sections d'un pieu le sont au fur et à mesure de l'enfoncement de celui-ci.

Il peut aussi arriver que des travaux de soudage soient requis pour des réparations de fissures sur des éléments d'un ouvrage en acier existant. Il faut alors vérifier les exigences particulières du devis spécial à ce sujet.

Le procédé de soudage « SMAW » (« shielded metal arc welding ») est le procédé le plus couramment employé au chantier, puisque, tout en offrant une grande liberté d'exécution et de conception, il est très économique. Ce procédé manuel est un soudage à l'arc électrique comprenant l'utilisation d'une électrode métallique de courte longueur enrobée de produits de protection. Le principe est relativement simple. Un arc électrique très intense est produit entre l'électrode consommable et la pièce à souder (voir la figure 7.5-1). Cet arc fait fondre une partie de la pièce à souder, une partie de l'électrode et enflamme l'enrobage de protection (« Flux »). Ce dernier crée un mélange liquide et gazeux, éloignant l'oxygène et l'hydrogène du bain de fusion. Le procédé FCAW est relativement identique, à la différence que le « flux » est à l'intérieur d'un très long et mince tube d'acier constituant le métal d'apport.

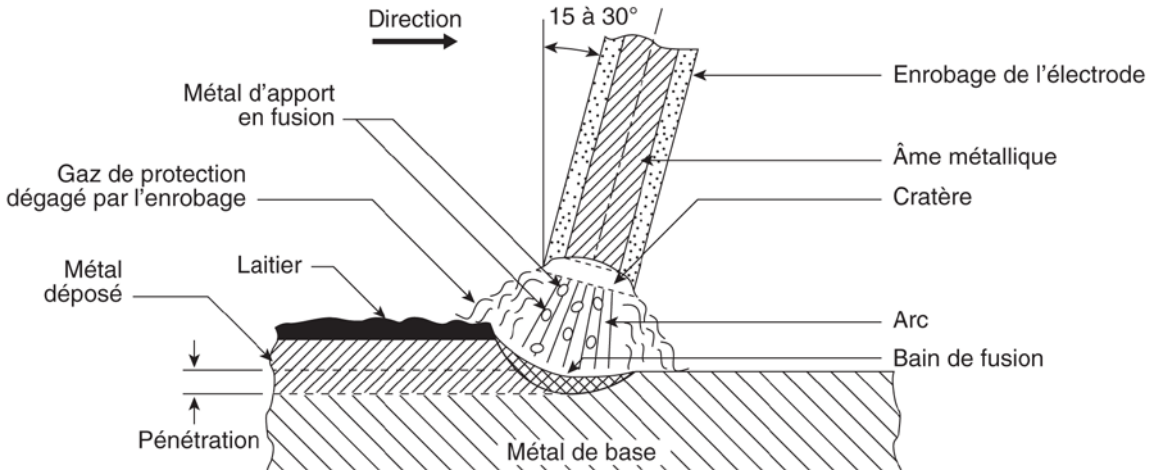


Figure 7.5-1 Procédé de soudage à électrode enrobée « SMAW »

Entreposage des électrodes

Comme les électrodes doivent être à enrobage basique ou désignées à hydrogène contrôlé (HC), elles doivent être livrées au chantier dans des contenants scellés ne présentant aucun signe d'endommagement. Une fois retirées de leur emballage initial, les électrodes doivent demeurer au sec, puisque l'enrobage de l'électrode absorbe l'humidité, ce qui favorise la fissuration dans le métal fondu et dans les zones adjacentes. Ces fissures, généralement microscopiques, peuvent se propager et ainsi provoquer une rupture.

Pour garantir l'absence d'humidité, les électrodes du procédé SMAW, une fois retirées des contenants scellés, doivent être entreposées au chantier dans un four portatif dont la température est maintenue à au moins 120 °C. Les électrodes qui ont été mouillées doivent être jetées. Les électrodes qui ne sont pas utilisées dans les quatre heures qui suivent leur retrait d'un four portatif ou d'un contenant scellé doivent également être jetées.

Pour les bobines des procédés FCAW et MCAW, elles doivent être retirées de leur sac sous vide et utilisées dans le plus court délai possible, mais comme le flux est à l'intérieur de l'électrode, il est moins sensible à la présence d'hydrogène et d'oxygène. En ce qui les concerne, une précaution importante est le contrôle du point de rosée. En présence d'humidité, si les bobines sont plus froides que l'air ambiant, aussitôt que le sac sera ouvert, une mince couche de condensation se formera sur l'électrode. Le surveillant pourra consulter les fiches techniques des bobines afin de connaître les précautions à prendre.

Symboles de soudage – généralités

Toutes les soudures doivent être réalisées conformément aux symboles de soudage spécifiés dans les plans. La figure 7.5-2 montre les symboles de soudage couramment utilisés. Bien que cette figure semble très complexe à première vue, il faut comprendre que les symboles de soudage sont relativement très schématiques. Leur forme ressemble en effet beaucoup à celle de la soudure à produire.

Un symbole de soudage fournit l'information nécessaire au soudeur; il se compose d'un certain nombre d'éléments standards.

Ligne de référence

La ligne de référence sert à définir les opérations désirées. Elle peut être multiple et, dans ce cas, la première opération à réaliser est celle indiquée sur la ligne la plus proche de la flèche. Elle peut également servir à indiquer les essais non destructifs exigés.

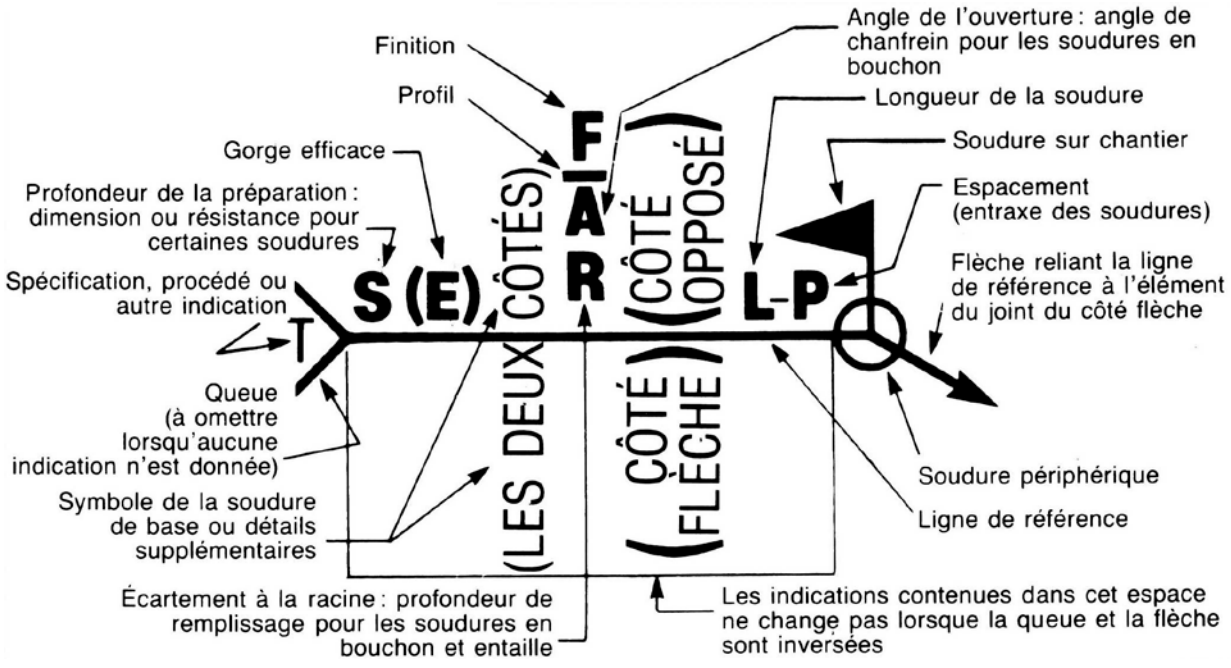


Figure 7.5-2 Symbole de soudage

Flèche

La flèche pointe le joint à souder et est reliée à la ligne de référence. Les opérations inscrites en dessous de la ligne de référence doivent se faire du côté opposé du joint par rapport à celui qui est pointé par la flèche. Celles inscrites au-dessous de la ligne de référence doivent se faire du côté pointé par la flèche. Une flèche brisée indique le besoin d'une préparation et pointe dans la direction de l'élément à préparer.

Symboles de soudure de base

Les symboles de soudure de base sont montrés à la figure 7.5-3. Ces symboles sont utilisés sous la ligne ou au-dessus de la ligne de référence et servent à spécifier le type de préparation à effectuer avant la soudure.

Dimension de la soudure

La dimension est la grandeur caractéristique d'une soudure et elle est définie selon le type de cette soudure. D'une façon générale, les valeurs inscrites indiquent en premier lieu (à gauche du symbole) la dimension de la soudure en millimètres puis, si requise (à droite du symbole), sa longueur en millimètres suivie lorsque nécessaire par la valeur indiquant l'espacement centre en centre entre chaque longueur. L'absence de longueur signifie que la soudure est faite tout au long de cet axe. Le symbole de soudure apparaissant en dessous de la ligne de référence fait référence au côté qui est pointé par la flèche et inversement.

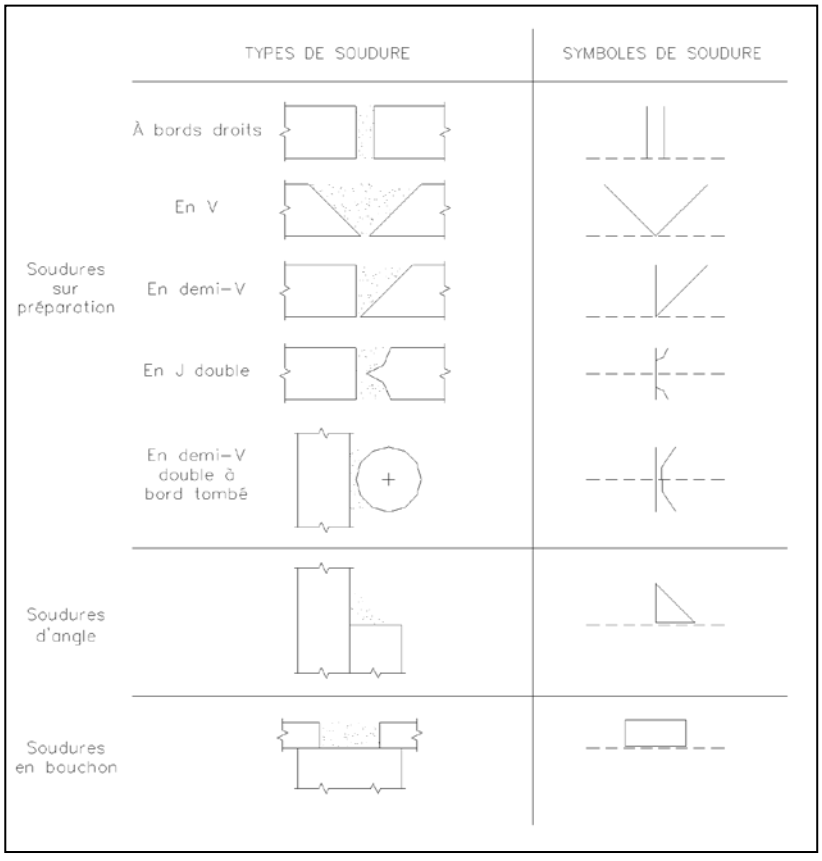


Figure 7.5-3 Symboles de soudure de base

Pour une soudure d'angle, la dimension du cordon de soudure est indiquée par un chiffre placé à gauche du triangle rectangle utilisé comme symbole. Lorsqu'ils sont requis, la longueur et l'espacement des soudures sont indiqués par des chiffres placés à la droite de ce symbole. La figure 7.5-4 montre deux exemples illustrant la façon de représenter une soudure d'angle.

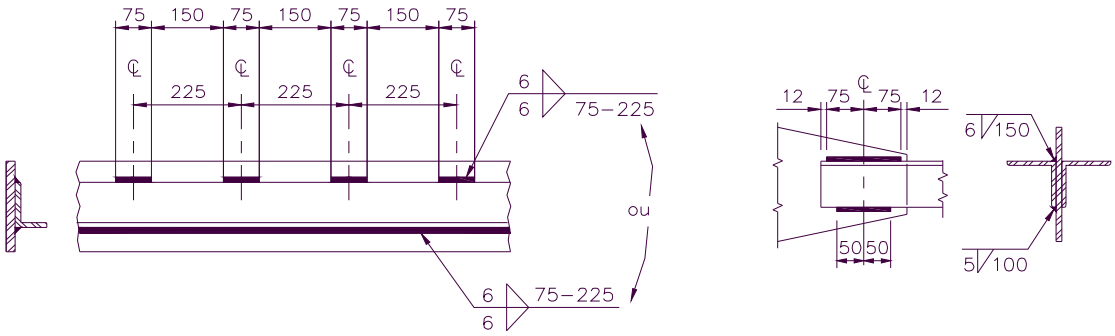


Figure 7.5-4 Soudure d'angle – exemples

Soudure périphérique

Un cercle placé à la jonction de la flèche et de la ligne de référence signifie que la soudure doit être exécutée sur tout le contour de la surface en contact des deux pièces à souder.

Soudure au chantier

Un drapeau noir triangulaire placé à la jonction de la flèche et de la ligne de référence signifie que la soudure doit être réalisée au chantier.

Queue

La queue permet de compléter, au besoin, l'information provenant des autres éléments du symbole de soudure; elle est optionnelle et n'est donc utilisée que lorsque nécessaire. Cela peut être le cas pour une référence à un procédé de soudage, au numéro de la feuille de données ou simplement l'expression « type » si la soudure est représentative de toutes les soudures montrées sur un dessin.

La note GTSM (*Gouged To Sound Metal*), qui signifie qu'on doit procéder à un gougeage à l'envers jusqu'au métal sain, est parfois spécifiée dans la queue du symbole de soudage. Cette note s'applique aux soudures à pénétration complète et elle indique qu'il est requis à une étape précise du soudage d'enlever jusqu'au métal sain les premières passes de soudure qui peuvent contenir certains défauts ou impuretés. Ce gougeage est réalisé par l'arrière de la soudure, et une ou des passes de soudure supplémentaires doivent être réalisées par la suite afin de compléter la soudure. La figure 7.5-5 montre un exemple d'une soudure avec gougeage à l'envers.

La note « CJP » (*Complete Joint Penetration*) peut apparaître sans qu'il n'y ait de symbole de soudure. Dans ce cas, le procédé doit être déterminé par l'ingénieur en soudage; l'objectif est d'obtenir une soudure à pénétration complète, donc à plus de 100 % de l'épaisseur.

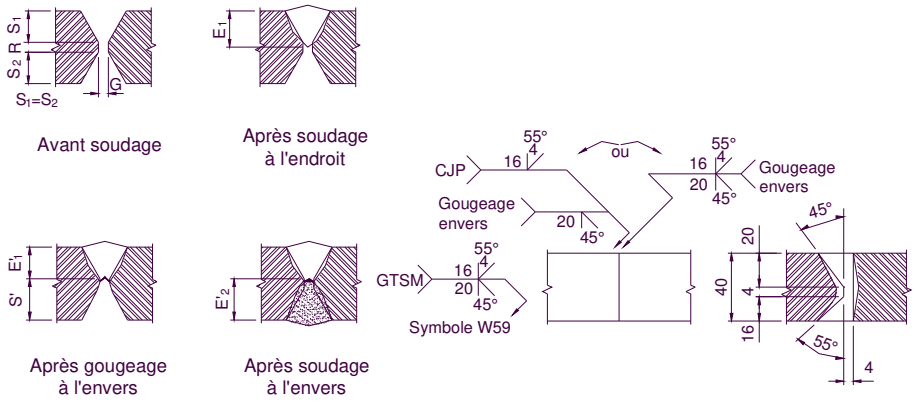


Figure 7.5-5 Soudure sur préparation des deux côtés avec pénétration complète et gougeage à l'envers

Préparation du métal de base

Bien que la préparation du métal de base fasse partie des exigences des procédures de soudage et des feuilles de données remises au surveillant, il est important de souligner certaines notions fondamentales.

Les surfaces à souder et les surfaces adjacentes en contact doivent être lisses, uniformes et exemptes d'arêtes, de fissures ou d'autres défauts susceptibles de nuire à la qualité ou à la résistance de la soudure.

Les surfaces à souder doivent également être maintenues sèches et exemptes, de calamine non adhérente, de laitier, de rouille écaillée, de peinture, de zinc, de graisse et d'huile dans un rayon de 50 mm d'une soudure.

La préparation des surfaces comprend également le préchauffage et le postchauffage des joints pour empêcher la fissuration et diminuer le plus possible les distorsions dues au retrait et l'apparition de fissures dans les soudures si les conditions suivantes l'exigent :

- les conditions atmosphériques, notamment la température ambiante;
- le type d'acier;
- l'épaisseur du matériau;

- le type de joint;
- la passe du fond pour une soudure multipasse;
- les contraintes imposées au joint au cours du soudage.

Le préchauffage, qui est décrit à la procédure de soudage, est généralement réalisé au moyen d'un chalumeau au propane muni d'un diffuseur à son extrémité. Il est important de noter que la température de préchauffage doit être maintenue pendant l'exécution du soudage et que le refroidissement doit se faire graduellement. Si l'opération de soudage est interrompue suffisamment longtemps pour que la température des surfaces baisse sous les températures minimales mentionnées, il faut reprendre le préchauffage avant de poursuivre le travail.

Comme spécifié par la norme CSA W59, le soudage ne doit pas être effectué lorsque la température ambiante est inférieure à - 18 °C.

Dans le but de satisfaire à toutes ces exigences, un abri peut être nécessaire pour protéger les pièces à souder des effets directs du vent, de la pluie et de la neige afin que les opérations de soudage se réalisent à une température ambiante contrôlée. La protection gazeuse autour de l'arc de soudage est particulièrement sensible au vent.

Mentionnons que la température de préchauffage des surfaces doit être vérifiée au moyen d'un thermomètre à infrarouge ou d'un crayon d'indicateur de température. Il est aussi exigé au CCDG que les pièces à souder doivent être préchauffées immédiatement avant les travaux de soudure de façon à éliminer l'humidité. Cette exigence s'applique surtout au chantier où les conditions climatiques ne sont pas toujours faciles.

Dans le but de contrôler le refroidissement des zones préchauffées ainsi que la soudure elle-même, il peut être nécessaire d'envelopper ces parties d'un matériau isolant ignifuge tel que de la laine de roche.

Soudage des goujons

Les goujons à installer au chantier doivent être soudés à l'aide d'une machine à souder automatique, appelée goujonneuse, selon les exigences de la norme CSA W59. Ils peuvent, par contre, être soudés manuellement si la quantité de goujons à installer est faible, sous réserve de l'approbation du concepteur.

Les goujons et le dessus des semelles des poutres doivent être exempts de rouille, de piqûres, de calamine, d'huile ou d'autres matières susceptibles de nuire à la qualité du soudage. Les dispositifs de protection de l'arc (viroles en céramique) doivent être secs.

Le surveillant doit se référer à la norme CSA W59 concernant les exigences relatives à l'inspection et, le cas échéant, à la procédure de réparation. Le surveillant peut obtenir une copie de ces exigences en contactant le concepteur.

Les principales exigences de la norme sont :

- au moins 10 goujons doivent être soudés sur une pièce sacrificielle d'épaisseur et de nuance équivalente à la pièce principale dans le but d'ajuster la goujonneuse. Ces goujons doivent par la suite être pliés à 90°. La soudure ne doit présenter aucune fissuration. Des fissures dans les goujons ou la plaque sont toutefois acceptables;
- au moins 2 goujons doivent subir un pliage à 15° au début de chaque quart de travail;
- après le soudage, les goujons doivent avoir un bourrelet (c'est-à-dire du métal en excès) complet sur tout le pourtour de la base du goujon; au besoin, une réparation peut être faite en ajoutant une soudure d'angle. Le bourrelet est considéré comme acceptable si la soudure réalisée excède le prolongement de tige du goujon;
- au moins 1 goujon sur 150 doit subir un essai de pliage selon un angle de 15°. L'essai de pliage peut être réalisé à l'aide d'une masse ou en en utilisant un tuyau d'une longueur approximative de 1 m. Si la température du métal de base est inférieure à 0 °C lors de l'essai, le nombre de goujons mis à l'essai peut augmenter. Le pliage doit être réalisé vers l'intérieur de la pièce afin de conserver le recouvrement de béton;
- tout goujon réparé par soudage ou remplacé doit être soumis à un essai de pliage à 15°;
- les goujons présentant des fissures dans la soudure, dans le métal de base ou dans la tige au moment de l'inspection doivent être remplacés ou réparés, au choix de l'entrepreneur. Dans le cas d'une réparation, une procédure doit être présentée. Le surveillant se doit de consulter le concepteur ou la DCQM (par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) pour toute information à ce sujet;
- les goujons qui ne présentent aucune défaillance à la suite de l'essai de pliage doivent demeurer dans leur position pliée;
- lorsqu'un goujon doit être enlevé d'un élément, des réparations par meulage ou par soudage peuvent être requises selon la zone de l'élément, tendue ou comprimée, où était soudé le goujon et de l'importance du dommage dans le métal de base de l'élément. Le surveillant se doit de consulter le concepteur ou la DCQM (par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) pour toute information à ce sujet.

<u>Soudures sur des pièces galvanisées</u>

Les soudures sur des pièces galvanisées ne sont pas permises parce que le zinc contamine le bain de fusion, ce qui peut introduire des fissures microscopiques à l'intérieur des soudures qui peuvent se propager au cours de la vie utile de l'ouvrage.

Il est donc obligatoire d'enlever toute la galvanisation au droit de la soudure, sur 50 mm de part et d'autre de cette dernière, avant de procéder à une opération de soudage, de

manière à ne pas altérer la qualité de la soudure. Une protection anticorrosion doit être ajoutée sur les soudures et les surfaces non protégées adjacentes selon les exigences du premier paragraphe de l'article 15.14.2.2.4 « Réparation après galvanisation » du CCDG.

7.5.4.1 Assemblage des poutres

La partie 7.5.4 « Soudures » de ce chapitre traite uniquement des soudures réalisées au chantier.

7.5.4.2 Contrôle des soudures

Tous les travaux de soudage au chantier doivent minimalement être inspectés visuellement et dans la majorité des cas avant, pendant et après le soudage. Les essais non-destructifs doivent être réalisés conformément à l'article 15.7.5.4.2 du CCDG.

Le surveillant doit vérifier les points suivants avant le début des travaux de soudage au chantier :

- les soudeurs sont qualifiés pour le procédé devant être utilisé;
- les soudeurs sont au service d'une entreprise certifiée;
- les procédures de soudage, y compris les feuilles de données préparées par l'entreprise certifiée, sont remises au surveillant;
- l'inspecteur en soudage certifié (CAN/CGSB-48.9712) à l'emploi d'un laboratoire certifié (CSA W178.1) ou d'une entreprise certifiée (CSA W47.1) ou le superviseur en soudage certifié selon la nature des travaux (CSA W47.1) est au chantier. Dans le cas où uniquement une inspection visuelle est requise, l'inspecteur doit être certifié de niveau 2 par la norme CSA W178.2;
- un four à électrodes fonctionnel est sur place.

Le surveillant doit se reporter à la partie 7.4.1.1 « Certification de l'entreprise et qualification du personnel effectuant les soudures » du présent chapitre pour avoir plus d'information sur la qualification du personnel et sur la certification de l'entreprise chargée du soudage. Il doit se référer à la partie 7.1 « Documents requis » pour plus de détails concernant les procédures de soudage, y compris les feuilles de données ainsi que l'organisme chargé des examens non destructifs.

Compte tenu de l'ampleur des travaux de soudage à effectuer, le surveillant peut demander une assistance technique auprès de la DGS ou de la DCQM (par l'entremise du chargé d'activité du Ministère ou un surveillant employé par un prestataire de services) s'il juge que ses connaissances sont insuffisantes dans le domaine du soudage.

Contrôle par examens non destructifs

Ce contrôle est généralement réalisé au chantier uniquement pour les joints soudés des pieux ainsi que pour l'assemblage d'une pointe à un pieu tubulaire et d'une pointe « Oslo » à un pieu en H, pour fixer les appareils d'appui, pour les soudures d'étanchéité des joints d'assemblage boulonnés des joints de tablier, pour les joints d'assemblage soudés des joints de tabliers à plus d'une garniture et, lorsque cela est demandé dans les plans, pour les travaux de réparation. Les contrôles non destructifs incluent la vérification visuelle des soudures. Outre cette vérification, les deux méthodes utilisées pour le contrôle non destructif des soudures au chantier sont : l'examen magnétoscopique et l'examen par ultrasons. La première méthode est utilisée pour la vérification de l'assemblage des appareils d'appui aux poutres ainsi que pour l'assemblage d'une pointe à un pieu tubulaire et d'une pointe « Oslo » à un pieu en H, des soudures d'angle effectuées lors d'une modification ou d'une réparation d'un ouvrage; alors que la deuxième est utilisée pour la vérification des joints bout à bout à pénétration complète, comme les joints soudés des pieux.

L'examen par magnétoscopie consiste à induire un champ magnétique autour de la soudure à l'aide d'une culasse magnétique (appelée « Yoke »), qui est en réalité un électroaimant. Une fine poudre est projetée dans la zone à inspecter. Cette poudre fait apparaître clairement les lignes du champ magnétique, mais également les fissures qui interrompent ce champ magnétique. Cet examen permet de détecter les fissures dites « effleurantes ». Il ne peut donc pas détecter les défauts de soudage interne. Ce type d'examen est très rapide et peu coûteux.

L'examen par ultrason utilise une sonde (appelée « palpeur ») pour émettre et recevoir des ondes propagées à l'intérieur de la pièce d'acier. Les défauts internes modifient la propagation des ondes. Ces modifications sont interprétées par un ordinateur et elles sont schématiquement représentées sur un écran.

Les exigences sur la portée des contrôles non destructifs sont énumérées au CCDG à moins que des essais supplémentaires soient requis aux plans et devis. Mais globalement, ils portent sur les zones où s'effectuent des arrêts-départs de soudage, puisque ces zones sont plus sujettes aux différents défauts.

Les contrôles par examens non destructifs devraient être faits en présence du surveillant. Pour ce faire, il est prévu au CCDG que le surveillant doit être avisé au moins 12 heures avant la réalisation des examens.

La figure 7.5-6 identifie les différents éléments du symbole utilisé pour le contrôle non destructif des soudures. Plusieurs de ces éléments ont la même signification que ceux utilisés pour le symbole de soudage.

Dans le cas où des essais non destructifs (magnétoscopie, ultrasons, radiographie, etc.) doivent être effectués, l'inspecteur en soudage doit être certifié selon la norme CGSB/ONGC 48.9712 « Essais non destructifs – Qualification et certification du personnel ».

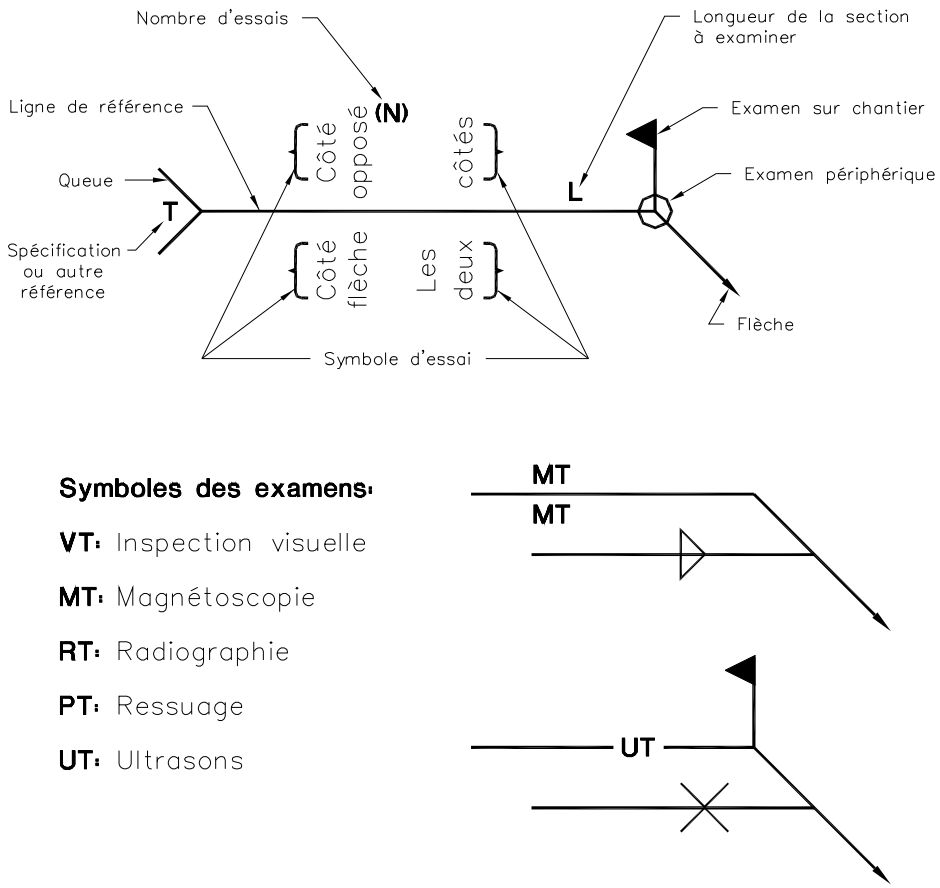


Figure 7.5-6 Symboles pour l'examen non destructif des soudures

Vérification visuelle

La vérification visuelle est une méthode d'inspection effectuée par l'inspecteur en soudage avant, pendant et après le soudage de façon à ce que toutes les soudures soient vérifiées à 100 %., à l'exception des soudures des dispositifs de retenue qui sont inspectées seulement après. Il est important de comprendre que c'est le seul examen pouvant être qualifié de « proactif » puisqu'il permet de vérifier la propreté, la qualité ainsi que le préchauffage des préparations avant le soudage. C'est un examen peu coûteux et rapide. Pour les drains, les drains d'interface et les soudures d'étanchéité des joints de tablier, l'inspecteur en soudage peut être remplacé par un superviseur en soudage certifié selon la norme CSA W47.1. L'article 15.7.5.4.2 du CCDG spécifie, selon le type d'ouvrages soudés, la portée (avant, pendant, après) de la vérification visuelle des soudures par un inspecteur en soudage et son lien d'emploi nécessaire avec une entreprise certifiée selon la norme CSA W47.1 ou avec un laboratoire certifié selon la norme CSA W178.1. Pour les soudures soumises à des examens par magnétoscopie (MT) ou par ultrasons (UT) selon les indications du CCDG, la portée de la vérification visuelle par l'inspecteur en soudage réalisant les essais est aussi indiquée à cet article du CCDG et se fait lors de la réalisation des contrôles non destructifs.

Avant le soudage, l'inspecteur ou le superviseur en soudage doit s'assurer que les procédures de soudage, les matériaux d'apport, l'équipement de soudage, la qualité du métal de base et la compétence du personnel effectuant le soudage sont conformes.

Pendant le soudage, l'inspecteur ou le superviseur en soudage doit vérifier la préparation des pièces ainsi que les surfaces à souder et veiller à ce que les conditions de soudage comme le préchauffage, la vitesse de soudage, le taux de dépôt ainsi que le type de courant utilisé soient conformes à la procédure de soudage.

Après le soudage, l'inspecteur ou le superviseur en soudage doit vérifier les dimensions de la soudure et le postchauffage lorsque ce dernier est requis par la procédure de soudage. Un examen dimensionnel des pièces soudées doit être effectué, lequel permet de s'assurer que l'opération de soudage n'entraîne pas de déformations des pièces soudées au-delà des tolérances permises.

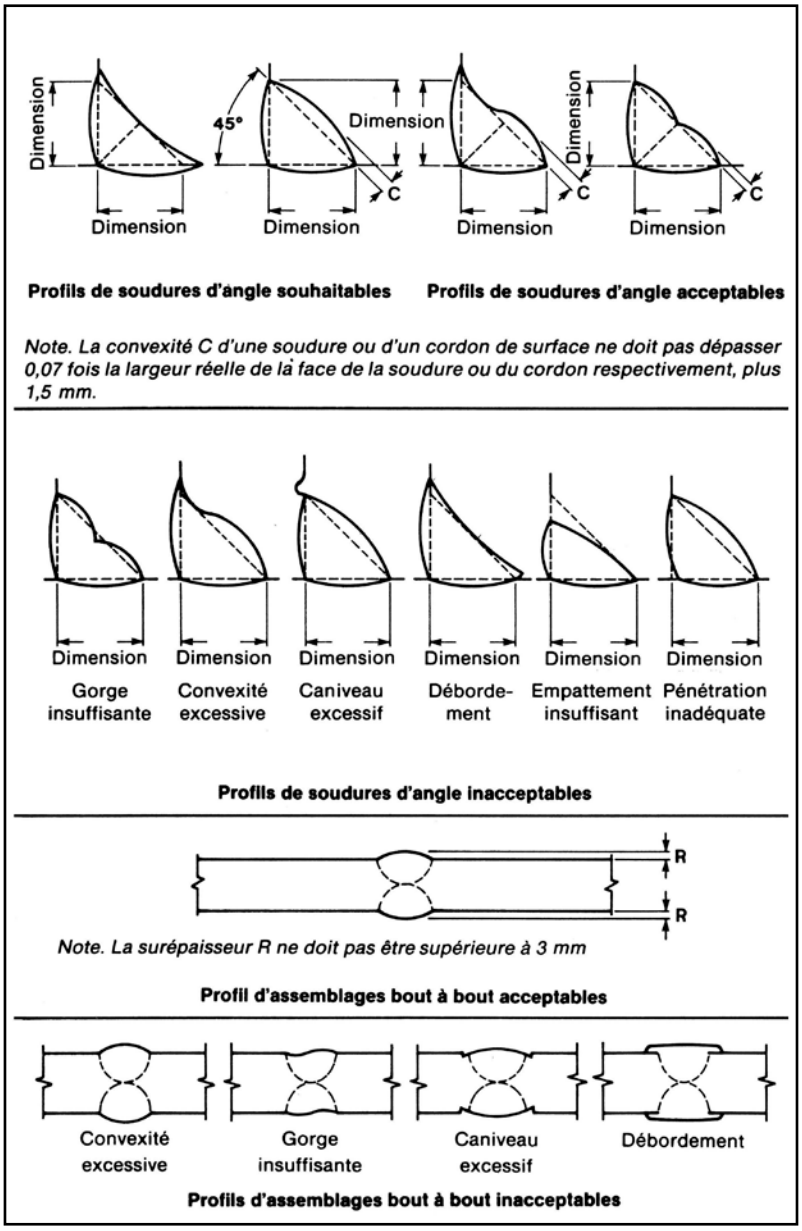
Une fois le laitier enlevé des soudures, l'inspection après le soudage permet également de détecter les défauts de surface visibles, notamment les fissures, les soufflures débouchant à la surface (poches de gaz emprisonnées dans le métal fondu), les caniveaux de surface (fusion exagérée du métal de base pendant le soudage) et les inclusions de laitier (résidu de laitier emprisonné dans la masse du métal fondu). La figure 7.5-7 permet de visualiser les profils de soudures acceptables et inacceptables. Le contrôle des soudures est réalisé au moyen d'instruments de mesure qui permettent d'établir les dimensions de la soudure, de la gorge et de la convexité de la soudure.

Les défauts dimensionnels et les défauts de surface visibles de la soudure doivent être corrigés conformément aux stipulations des normes CSA W59 et CAN/CSA S6 ainsi que selon les procédures de soudage pour les réparations par soudage. Ce dernier document fait partie des documents traités à la partie 7.1 « Documents requis » du présent chapitre.

Toutes les soudures réalisées au chantier doivent faire l'objet d'une vérification visuelle selon les modalités indiquées au CCDG.

Rapport

Les vérifications de l'inspecteur ou du superviseur en soudage doivent être consignées dans un rapport écrit et remis au surveillant avant l'inspection finale du soudage par ce dernier. Par contre, dans le cas des soudures réalisées au chantier, un avis verbal doit être donné sur-le-champ au surveillant par l'inspecteur ou le superviseur en soudage attestant que les soudures sont conformes aux exigences; Le rapport est remis par la suite au surveillant dans un délai ne dépassant pas 7 jours. Cette façon de faire est nécessaire pour ne pas retarder les travaux, notamment ceux concernant l'enfoncement des pieux.



Profils de soudures d'angle souhaitables **Profils de soudures d'angle acceptables**

Note. La convexité C d'une soudure ou d'un cordon de surface ne doit pas dépasser 0,07 fois la largeur réelle de la face de la soudure ou du cordon respectivement, plus 1,5 mm.

Profils de soudures d'angle inacceptables

Note. La surépaisseur R ne doit pas être supérieure à 3 mm

Profil d'assemblages bout à bout acceptables

Profils d'assemblages bout à bout inacceptables

Figure 7.5-7 Critères de contrôle pour des profils de soudures

7.5.5 Prémontage en usine

Le prémontage en usine des poutres, comportant des joints de chantier, est requis afin de s'assurer que lors de leur érection au chantier, aucun problème ne surviendra en raison de l'incompatibilité des différentes pièces entre elles. Le surveillant ne doit pas tenir pour acquis que cela a été fait et il doit contacter son représentant dans l'usine pour s'en assurer.

Il est exigé, dans les cas cités au CCDG, que l'entrepreneur fournisse au surveillant un plan de prémontage détaillé expliquant chacune des étapes, et ce, au moins 14 jours

avant de procéder au prémontage. Le surveillant doit faire approuver par le concepteur le plan de prémontage et, par la suite, donner un avis écrit à l'entrepreneur l'autorisant à procéder.

A un joint de chantier d'une poutre principale, le perçage des trous doit être effectué à l'aide d'une des plaques de joint de la semelle et de l'âme, dont les trous ont été percés au préalable afin qu'elles servent de gabarit. Il est également permis de faire le perçage des plaques de joint ainsi que de l'une des deux sections de poutre à l'aide d'une perceuse à commande numérique et d'utiliser par la suite ces plaques comme gabarit pour le perçage de l'autre section de poutre. L'application de cette nouvelle exigence est primordiale pour s'assurer un montage adéquat au chantier. Le surveillant devrait s'assurer que cette procédure est bel et bien suivie en usine.

Lors de l'opération de soudage semelle-âme des poutres, et puisqu'une quantité considérable de soudure est réalisée d'un seul côté des semelles, il est pratiquement inévitable qu'il se produise une déformation de ces dernières. L'ampleur de ces déformations est limitée par la norme CSA W59. Cependant, les tolérances de cette norme ne sont pas assez restrictives dans le cas des zones des joints de chantier ainsi qu'aux appareils d'appui. Dans le cas des joints de chantier, comme il s'agit de relier trois plaques relativement épaisses, des déformations importantes peuvent compromettre la qualité du serrage des boulons. Pour les appareils d'appui devant être soudés aux poutres, les tolérances de contact entre la semelle et ce dernier apparaissent à l'article 10.24.7.3 de la norme S6 ainsi qu'à l'article 5.8 de la norme CSA W59. Mais, globalement, ces deux normes donnent des tolérances de l'ordre de 0,25 à 0,5 mm dans la projection de l'âme ainsi que des raidisseurs. Le reste de l'appui ne doit pas avoir d'espacements supérieurs à 2 mm. Les déformations engendrées par le soudage âme-semelle peuvent aisément être de l'ordre de 6 à 10 mm, voire plus. L'inspecteur doit donc porter une attention particulière à la planéité des semelles et exiger des correctifs s'il y a lieu.

7.5.6 Autorisation de livraison

Il est exigé au CCDG qu'une pièce ne peut quitter l'usine avant que le rapport d'inspection concernant les examens non destructifs des soudures ait été remis au surveillant et que ce dernier ait effectué son inspection visuelle et donné son acceptation écrite autorisant son transport vers le chantier. Dans les cas où les éléments en acier doivent recevoir, en tout ou en partie, un revêtement de protection (galvanisation, métallisation ou peinture), une première autorisation de livraison doit être délivrée avant ces travaux, puisqu'une fois les éléments revêtus, l'inspection ne peut être bien réalisée.

Bien que dans les faits, l'inspection finale et l'acceptation écrite soient faites par le représentant du surveillant dans l'usine, le surveillant ne doit pas tenir pour acquis que cela a été fait et il doit contacter son représentant dans l'usine pour s'en assurer. De plus, bien que cette opération porte le nom d'« inspection » visuelle, il ne faut pas la substituer au plan qualité du fabricant de l'ouvrage. C'est ce dernier qui demeure

entièrement responsable de la qualité et de la précision de la fabrication. Cette inspection n'est qu'un contrôle relativement partiel et l'opération consiste plutôt en une vérification que toute la documentation exigée a bel et bien été fournie. Lors de cette inspection visuelle par exemple, le représentant du surveillant ne peut avoir fait qu'un relevé dimensionnel partiel ou une vérification globale des revêtements de protection.

7.6 MANUTENTION, TRANSPORT ET MONTAGE

Le levage des poutres principales durant le transport, la manutention au chantier et le montage doivent être effectués à partir d'au moins deux points. L'ouvrage temporaire fixé à ces points est décrit dans les plans de montage, et l'entrepreneur doit s'y conformer en tout temps (voir la partie 7.2 « Exigences de conception » du présent chapitre). En aucun temps, des pièces temporaires ne doivent être soudées à la charpente finale

Transport des poutres principales

L'article 10.24.9 « Transport et livraison » de la norme CAN/CSA S6 stipule que les poutres à âme pleine doivent être transportées à la verticale sans subir de contraintes et de déformations excessives, ni de dommages. Cette exigence peut être respectée dans le cas de poutres dont la hauteur est inférieure à environ 2 750 mm. Les poutres plus hautes sont transportées avec l'âme en position horizontale, selon les exigences des plans du système de support dont il est question dans la partie 7.1 « Documents requis » du présent chapitre.

Le système de support temporaire utilisé lors du transport, que ce soit pour un transport à l'horizontale ou à la verticale, doit être assez résistant et rigide pour assurer la stabilité complète des poutres. Lorsque les poutres sont en position verticale, les semelles supérieures sont comprimées et elles peuvent subir un déversement latéral. Un système de support latéral ou de contreventements temporaires entre deux poutres peut être requis. Lors d'un transport à l'horizontale, la poutre est dans son axe faible et les vibrations de la route, surtout lors de transport de longues distances, peuvent apporter des cycles de contraintes non prévues par la conception.

Le surveillant doit s'assurer d'avoir les plans du système de support en main afin qu'il puisse vérifier si le transport est effectué conformément aux exigences du CCDG. L'entrepreneur doit s'y conformer rigoureusement et le représentant du surveillant à l'usine ne doit autoriser le transport d'une poutre que lorsque le système de support mis en place est jugé conforme.

Afin de ne pas endommager les différents éléments de la charpente, y compris les revêtements, il est recommandé d'insérer des pièces de bois ou autre matériau entre les éléments. Dans le cas des contreventements par exemple, ils doivent être adéquatement séparés les uns des autres et solidement fixés sur une palette de transport.

Manutention au chantier

Le surveillant vérifie les différentes pièces à leur arrivée au chantier et s'assure qu'elles n'ont pas été endommagées pendant le transport ou la manutention. Les défauts les plus courants sont la présence d'une entaille, d'une déformation localisée ou générale ou d'une altération du revêtement anticorrosion.

Une fois le déchargement des matériaux effectué, le surveillant vérifie que l'entreposage de ceux-ci est fait de façon adéquate. Il doit aussi veiller à ce que la manutention des pièces au chantier soit faite adéquatement. Une bonne pratique consiste à utiliser des élingues non métalliques ou tout autre système afin d'éviter le contact entre un composant métallique d'un équipement de manutention et les pièces à manipuler. Si malgré tout l'entrepreneur utilise des élingues métalliques ou des chaînes, il doit protéger les surfaces en contact avec les pièces en acier au moyen de matériaux appropriés.

Les pièces métalliques endommagées doivent être réparées ou remplacées avant leur installation selon les modalités de l'article 15.14 « Galvanisation, métallisation et peinturage » du CCDG.

De plus, une fois le montage de l'ouvrage terminé, le surveillant doit vérifier que les trous laissés par l'enlèvement des ouvrages temporaires servant au levage des poutres sont comblés par des boulons A325; si les poutres sont peinturées, les boulons doivent avoir le même revêtement que les poutres et, dans les autres cas, les boulons doivent être galvanisés.

Vérification des blocs d'assise

Il est exigé au CCDG que l'entrepreneur fournisse au surveillant un relevé d'arpentage (voir description au CCDG) de chaque appareil d'appui ainsi que les valeurs correspondantes demandées aux plans et devis. Ce relevé, qui doit être signé par un ingénieur, doit être remis au moins 7 jours avant la mise en place des poutres.

Ce relevé des blocs d'assise doit démontrer l'exactitude horizontale, verticale ainsi que le nivellement de ces derniers. Le devis spécial exige que les blocs d'assise soient placés à l'intérieur d'une tolérance de 3 mm de leur élévation théorique. En cas de non-conformité, l'entrepreneur devra présenter une procédure de correction des blocs d'assise. La précision des élévations est particulièrement importante dans le cas des poutres continues sur plusieurs travées.

Il est recommandé que le surveillant achemine de façon systématique au concepteur le relevé d'arpentage pour s'enquérir de la conduite à retenir avant de déposer les poutres sur les appareils d'appui.

Montage

Les méthodes et les techniques d'érection d'un ouvrage dépendent du type de structure, de la longueur des travées, des conditions du site et de l'équipement

disponible. Le surveillant doit s'assurer d'avoir en main les plans de montage ainsi que les plans et les calculs du procédé de montage, dont il est fait état dans la partie 7.1 « Documents requis » de ce chapitre, avant le début du montage de l'ouvrage. Le surveillant doit également prendre connaissance des plans et devis et identifier les particularités du projet.

Puisque les plans et les calculs du procédé de montage sont réalisés à la suite d'une étude de stabilité et de résistance, afin de s'assurer que les efforts temporaires attribuables au montage de l'ouvrage, au bétonnage de la dalle et ceux dus au vent n'occasionnent pas de contraintes plus importantes que les contraintes permises, ou des conditions d'instabilité, l'entrepreneur doit s'y conformer rigoureusement.

Il est très important de mentionner que c'est durant la phase de construction, lorsque l'ouvrage est incomplet, que celui-ci est le plus vulnérable. Cette vulnérabilité est encore plus grande dans le cas de la première poutre mise en place tant qu'une deuxième poutre n'est pas à sa position finale et que celles-ci soient contreventées. Il faut donc s'assurer que l'ouvrage demeure stable durant la construction. Pour ce faire, il est exigé au CCDG que l'entrepreneur mette en place le plus rapidement possible les contreventements et les ouvrages temporaires mentionnés aux plans et aux calculs du procédé de montage (voir partie 7.1 « Documents requis » de ce chapitre).

Il est exigé au CCDG qu'un avis écrit signé par un ingénieur, indiquant la conformité de la mise en place des contreventements et des ouvrages temporaires, soit fourni au surveillant par l'entrepreneur. Cet avis, qui doit être donné à la fin de chaque quart de travail, ne peut être donné que lorsque tous les contreventements et les ouvrages temporaires sont en place, particulièrement ceux situés en travée. Cet ingénieur, qui peut être différent de celui qui a préparé les plans et les calculs du procédé de montage, doit lui-même inspecter, sans délégation possible, les contreventements et les ouvrages temporaires mis en place avant de signer son avis. Cette dernière exigence est importante, car celui-ci est le plus apte à détecter toute anomalie éventuelle.

Tous les joints de chantier des poutres doivent être boulonnés et serrés au serrage final avant l'ajout de toute charge additionnelle. Dans le cas des ponts à plusieurs travées, le CCDG exige qu'au minimum deux travées adjacentes doivent être boulonnées au serrage final avant l'ajout de charges supplémentaires. Ceci fait en sorte qu'au moins trois travées doivent être boulonnées au serrage final, soit celle visée par l'ajout des charges supplémentaires, et les deux adjacentes. Ceci inclut, mais sans s'y limiter, le coffrage de la dalle ainsi que l'ajout d'armature. Cette précaution est importante puisque l'ajout de charges additionnelles pourrait fausser les cambrures des travées ou même des poutres adjacentes. Cette précaution vise également les contreventements et diaphragmes des ponts courbes. Une légère passerelle d'accès aux zones des joints de chantier pourrait cependant être tolérée, mais son poids devra être tout de même limité.

Les contreventements et les autres ouvrages temporaires mis en place pour assurer la stabilité de l'ouvrage durant le montage, doivent demeurer en place jusqu'à ce que le

béton de la dalle ait atteint 70 % de sa résistance à la compression à 28 jours. Cette exigence du CCDG s'impose afin de s'assurer que la dalle soit suffisamment solide pour résister aux efforts repris jusque-là par les ouvrages temporaires.

Lorsqu'un tablier est construit en plus d'une phase afin de permettre le passage de la circulation, une largeur de bande minimale de dalle de béton ainsi que les contreventements ou diaphragmes intermédiaires situés sous celle-ci sont mis en place après le durcissement du béton des dalles situées de part et d'autre de cette bande.

Cette façon de faire nécessite donc que les trous requis pour l'assemblage de ces contreventements ou diaphragmes intermédiaires devraient être percés au chantier après bétonnage des dalles de part et d'autre, puisqu'on ne peut connaître à l'avance la position finale de ces éléments. Il est également acceptable que les trous des contreventements et des diaphragmes intermédiaires à l'intérieur de cette bande minimale soient surdimensionnés de 2 mm afin de permettre une certaine latitude d'installation. Les boulons devront avoir une rondelle supplémentaire. Cette façon de précéder a l'avantage de permettre l'installation temporaire de ces éléments avant la mise en place du coffrage. Les fixations devront tout de même permettre le déplacement vertical entre les phases qui se produira pendant le bétonnage. Il peut donc s'agir de mettre en place quelques boulons temporaires serrés à bloc seulement dans la partie supérieure et ainsi permettre la liberté de mouvement de la partie inférieure.

Avant le montage et lorsque l'acier de l'ouvrage n'est pas recouvert d'un revêtement anticorrosion, il est exigé au CCDG que l'entrepreneur protège adéquatement le béton des unités de fondation afin d'éviter que ce dernier soit taché par l'eau ruisselant sur l'acier. Il est beaucoup plus facile de protéger les surfaces de béton que de les nettoyer par la suite. De plus, il est exigé au CCDG qu'une fois l'ouvrage complété, toute souillure (taches d'huile et de graisse) sur les poutres ou les unités de fondation, découlant du montage, soit enlevée. Cette dernière exigence est importante et devrait inciter l'entrepreneur à faire attention puisqu'il aura la tâche de tout nettoyer avant de quitter les lieux. Compte tenu des produits particuliers nécessaires à l'enlèvement de ces souillures, ce serait une erreur que d'attendre le nettoyage prévu une fois l'ouvrage complété (voir l'article 15.4.3.5.11 « Inspection, correction et nettoyage des surfaces » du CCDG).

Le surveillant doit se référer à la partie 7.5.4 « Soudures » de ce chapitre avant d'entreprendre la surveillance de soudures réalisées au chantier, notamment celles concernant les pieux et les appareils d'appui.

7.6.1 Joints boulonnés

Les assemblages boulonnés sont surtout utilisés au chantier, puisque leur qualité y est plus facile à contrôler que celle des assemblages soudés.

Toutes les exigences, y compris celles de la réunion préalable au boulonnage, de l'avis de l'entrepreneur par quart de travail et des deux contrôles de la qualité, concernant les joints boulonnés se retrouvent au CCDG.

Préparation des surfaces

Dans le cas des assemblages de type antiglissement, il est très important que le serrage des boulons soit suffisant afin de développer la résistance au glissement requise par ce type d'assemblage.

La préparation des surfaces d'acier des assemblages boulonnés des pièces est effectuée en usine, selon les exigences du CCDG. Le surveillant doit donc s'assurer, avant le montage, que l'état des surfaces des pièces respecte les exigences du CCDG, notamment celles spécifiant que les surfaces en contact doivent être à l'acier nu, revêtues de galvanisation, de métallisation ou recouverte d'un apprêt de catégorie B. La préparation des surfaces est nécessaire pour plusieurs raisons, notamment pour augmenter le coefficient de friction de l'acier dans le cas des assemblages antiglissement et pour améliorer l'étanchéité de tous les types d'assemblages.

Un changement important a été introduit au CCDG 2014 concernant le revêtement des surfaces apparentes (visibles après les travaux) des joints de chantier de poutres principales ainsi que pour les contreventements de ponts courbes. En effet, ces dernières ne doivent recevoir que la première couche du système de recouvrement (galvanisation, métallisation ou peinture à base de zinc d'un système homologué) à l'usine. Il faut noter que les zones visées par cette précaution sont celles se trouvant immédiatement sous les rondelles. Il serait donc acceptable que seules ces zones soient masquées lors des étapes de pose de revêtement ou que toute la surface apparente du joint soit masquée. Les autres couches du revêtement doivent être réalisées en condition de chantier et selon les exigences de l'article 15.14.4.3.2 c) « Application » du CCDG.

Un assemblage antiglissement est conçu de manière à transmettre les efforts par friction entre les pièces assemblées alors que l'assemblage par contact transmet les efforts par la butée des boulons contre les pièces assemblées. L'assemblage antiglissement transmet donc les efforts grâce à la friction générée par le serrage des boulons exerçant une force de compression sur les pièces assemblées. La résistance au glissement par friction est d'autant plus grande que la force qui comprime les pièces assemblées est importante et que le coefficient de friction entre les surfaces en contact est élevé. L'état des surfaces en contact est donc un facteur très important dans la capacité d'un assemblage, d'où la nécessité d'une bonne préparation.

Un assemblage antiglissement est requis lorsque l'assemblage est sollicité par des charges cycliques occasionnant de la fatigue, de fortes vibrations ou des renversements d'efforts, ainsi que par un effort de cisaillement combiné à un effort de tension. Il est aussi nécessaire pour tout assemblage dans lequel des boulons sont installés dans des trous surdimensionnés, auquel cas, une rondelle supplémentaire est requise.

La préparation des surfaces est également utile pour assurer l'étanchéité des assemblages; cette préparation permet aussi d'enlever toutes les imperfections de surfaces afin que les pièces soient en contact sur toutes leurs surfaces.

Il est aussi important de mentionner que lorsque les surfaces d'acier sont galvanisées, un nettoyage manuel à la brosse métallique, de manière à enlever l'apparence lustrée, sans toutefois affecter le revêtement de zinc, est exigé afin d'augmenter le coefficient de friction. Un nettoyage fait mécaniquement n'est pas permis dans ce cas, puisqu'il a tendance à polir les surfaces plutôt qu'à augmenter leur rugosité.

Peinturage des boulons

Le peinturage des boulons doit être effectué après le serrage final des boulons au chantier (voir l'article 15.14.4.3.2 c) « Application » du CCDG), puisque cette dernière activité endommagerait la peinture déjà appliquée. Un dégraissage à l'aide d'un solvant doit précéder le peinturage. Le même article du CCDG prévoit le peinturage des surfaces apparentes des joints de chantier n'ayant reçu en usine que la couche primaire.

Livraison et entreposage des boulons

Les boulons, écrous et rondelles doivent être livrés assemblés sur le chantier dans des contenants scellés à l'usine du fournisseur. Une inspection du scellement des contenants doit être réalisée par le surveillant aussitôt livrés au chantier. Cette exigence est nécessaire pour éviter que des boulons provenant des contenants déjà entamés sur d'autres chantiers ne se retrouvent sur le chantier. En effet, il serait alors difficile d'associer ces boulons à un lot précis (ou à une attestation de conformité précise) puisqu'ils peuvent provenir de plusieurs contenants. De plus, des contenants non scellés signifient souvent des boulons qui ne sont pas dans un état acceptable puisqu'ils ont été probablement exposés à l'humidité, à la poussière et aux saletés de toutes sortes, ou pire, ils peuvent avoir déjà été rejetés sur un autre chantier après utilisation.

Mentionnons aussi que les boulons, écrous et rondelles ne doivent pas être livrés dans des contenants séparés; en effet, les boulons doivent arriver au chantier « assemblés », c'est-à-dire qu'un écrou et une rondelle sont en place sur chaque boulon. Cette exigence de la norme S6 est importante, car le fournisseur de boulons (à distinguer du ou des fabricants des boulons, des écrous et des rondelles) doit s'assurer de la compatibilité des pièces entre elles, d'où la formation de lots de boulons « assemblés » suite aux essais qu'il a réalisés pour vérifier la tension minimale des boulons.

Le surveillant doit s'assurer que le fournisseur a bien identifié les contenants de boulons assemblés livrés au chantier comme cela est indiqué au CCDG. Cette précaution est importante pour assurer une bonne gestion des boulons au chantier en rapport avec la vérification de la tension minimale des lots de boulons.

De plus, il est important que les boulons, les rondelles et les écrous soient entreposés adéquatement au chantier de manière à les conserver dans le même état qu'au moment de la livraison; ils doivent donc être protégés de la poussière, de la saleté et de l'humidité. Mentionnons que des boulons qui ont été ainsi exposés aux intempéries ne peuvent plus être mis en place correctement à cause de l'augmentation de la friction entre l'écrou et le boulon, ce qui fausserait les résultats du serrage final. Après chaque journée de travail, les boulons, écrous et rondelles qui n'ont pas été utilisés doivent être retournés au site d'entreposage. Le surveillant se doit d'être très vigilant à ce niveau, car il n'est pas rare d'avoir un entreposage inadéquat au chantier.

Il est recommandé de rejeter les boulons mal entreposés qui ne sont plus dans l'état où ils étaient lors de la livraison. Cet aspect des choses est souvent négligé par les intervenants, ce qui peut introduire une torsion excessive lors du serrage boulons.

7.6.1.1 Mise en place des boulons

Procédure de boulonnage

Le surveillant doit vérifier soigneusement la mise en place des boulons afin de s'assurer que les assemblages sont réalisés adéquatement. Pour ce faire, il doit notamment s'attarder aux points suivants :

- la vérification sommaire des pièces percées en usine;
- la procédure de boulonnage;
- la réunion préalable au boulonnage pour les joints de chantier des poutres principales;
- la vérification de la tension minimale des boulons;
- l'avis de l'entrepreneur (quart de travail);
- l'alignement des poutres principales;
- la longueur des boulons;
- le serrage à bloc des boulons;
- le marquage des boulons;
- le serrage final des boulons;
- le remplacement des chevilles d'assemblage;
- le déplacement de poutres assemblées (si pas assemblé à l'emplacement définitif);
- le serrage final des boulons de tous les joints boulonnés avant l'ajout de charges supplémentaires;
- les contrôles de la qualité de l'entrepreneur et du surveillant;
- l'avis de l'entrepreneur (attestation de conformité).

Ces points, listés selon l'ordre chronologique des travaux, sont décrits plus loin. Mentionnons que ces points s'appliquent à tous les assemblages boulonnés, à l'exception de la réunion préalable au boulonnage, le déplacement des poutres assemblées et l'alignement des poutres qui ne concernent que les poutres principales.

Il est important de souligner que le seul serrage permis dans le CCDG est le serrage par rotation de l'écrou. Ce serrage implique trois étapes principales : le serrage à bloc, le marquage et le serrage final des boulons.

Pour une question d'apparence, les écrous sont placés du côté le moins visible de l'ouvrage, à moins d'une indication contraire dans les plans et pourvu que l'espace disponible le permette.

Les boulons sont posés avec une rondelle placée sous l'élément qu'on tourne durant le serrage, soit le boulon ou l'écrou, afin de ne pas endommager la pièce à assembler. Il faut utiliser des rondelles aux deux extrémités lorsqu'on emploie des boulons de type A490 avec des pièces dont la limite élastique de l'acier est inférieure à 280 MPa. De plus, il faut utiliser des rondelles aux deux extrémités lorsque le trou est surdimensionné pour mieux répartir les contraintes entre les pièces à assembler et l'écrou ou la tête du boulon.

Dans le cas où les surfaces à boulonner présentent une pente, des rondelles biseautées peuvent être requises. Pour plus de détails, se référer à l'article A10.1.6.6 de CAN/CSA S6. Il est mentionné que des rondelles biseautées sont nécessaires lorsque la pente des plaques excède 5 %. L'exigence de la norme CAN/CSA W59 est d'une pente de 1:20, ce qui est égal à la valeur des normes S6.

Vérification sommaire des pièces percées en usine

Bien qu'un contrôle soit réalisé en usine, il n'est pas superflu de faire une dernière vérification du perçage des pièces dès que celles-ci sont livrées au chantier. Les points à vérifier par le surveillant sont :

- le diamètre des trous doit avoir 2 mm de plus que le diamètre nominal des boulons, sauf si les plans contiennent une autre indication;
- la distance minimale entre les centres des trous ne doit pas être inférieure à 2,7 fois le diamètre du boulon. Une règle de bonne pratique suggère toutefois d'utiliser une distance d'environ 3 fois le diamètre du boulon;
- la pince ne doit pas généralement être inférieure à environ 1,75 fois le diamètre du boulon. La pince est définie comme la distance entre le centre d'un trou et le bord de la pièce métallique.

Le surveillant se doit de consulter le concepteur si l'une des pièces ne respecte pas les plans d'atelier quant à ces exigences. Une demande de correction doit être transmise rapidement à l'entrepreneur afin que ce dernier puisse apporter les corrections avant que le montage ne soit trop avancé.

La procédure de boulonnage

La procédure de boulonnage, qui fait partie des documents requis (voir partie 7.1 « Documents requis » de ce chapitre), est utilisée d'abord à l'étape de la vérification de la tension minimale afin de valider la méthode que l'entrepreneur se propose d'employer pour le serrage à bloc des boulons de façon à ce que la tension finale ne soit pas excessive. En effet, si le serrage à bloc est trop élevé, c'est-à-dire au-delà de la valeur de 15 % ± 3 % de la tension minimale exigée, le serrage final réalisé selon la méthode par rotation de l'écrou risque d'induire une tension excessive pouvant conduire à une trop grande plastification des filets et parfois même à la quasi-rupture des boulons.

Il est ensuite bien important de comprendre que, lors du serrage à bloc réalisé pendant l'installation des boulons, ce sont les équipements servant à ce serrage qu'il faut bien gérer et cette gestion se fait à partir de la procédure de boulonnage validée lors de la vérification de la tension minimale des boulons.

De plus, dans le cas des joints de chantier des poutres principales, la procédure de boulonnage doit préciser la méthode d'ajustement des sections de poutres ainsi que la séquence de mise en place et de serrage des boulons. De plus, la procédure de boulonnage indique si des boulons temporaires mis en place et serrés sans aucun contrôle seront utilisés au moment de l'alignement des sections de poutres.

Mentionnons que les plans et calculs du procédé de montage permettent de savoir si l'ajustement et le boulonnage des sections de poutres se feront ou non sur des bancs temporaires. Dans le cas des bancs temporaires installés sous des sections de poutres mises en place à leur emplacement définitif, ces documents permettent aussi de savoir le moment à partir duquel les bancs temporaires peuvent être enlevés.

Réunion préalable au boulonnage

La réunion préalable au boulonnage des joints de chantier des poutres principales est une étape préparatoire importante, puisque cette exigence du devis spécial permet de regrouper tous les intervenants afin de planifier adéquatement les travaux. Cette réunion est organisée par le surveillant au moins 7 jours avant le début de la mise en place des boulons; en plus de l'entrepreneur et de l'entreprise chargée par ce dernier du montage de l'ouvrage, le surveillant se doit d'inviter le représentant de la DCQM (par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services).

L'ordre du jour doit comprendre la revue de la procédure de boulonnage, la vérification de la tension minimale des boulons sur au moins un lot de production de boulons assemblés (boulon, écrou et rondelle) et la revue des exigences contractuelles relatives à la mise en place des boulons.

Il est important de mentionner que la réunion n'a lieu qu'une fois la procédure de boulonnage jugée complète par le surveillant; si ce dernier n'est pas en mesure de porter ce jugement, il se doit de consulter la DGS ou le représentant de la DCQM (par

l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services). Cette exigence du devis spécial est nécessaire, car le but de la réunion est de parler de la mise en place des boulons et non pas du contenu des documents requis.

Vérification de la tension minimale des boulons

Le surveillant est invité à consulter la partie 7.4.3.2 « Contrôle de réception » de ce chapitre pour plus d'information.

Avis de l'entrepreneur (quart de travail)

Afin de s'assurer que le surveillant soit au courant des travaux de serrage des boulons des joints de chantier des poutres principales à réaliser lors de chaque quart de travail, il est exigé au devis spécial que l'entrepreneur l'avise par écrit de ces travaux, au début de chaque quart de travail. L'avis doit identifier le premier joint sur lequel il est prévu de serrer à bloc des boulons ainsi que le moment probable du serrage final de tous les joints de chantier où des boulons seront serrés au serrage final lors de ce quart de travail.

Le surveillant pourra coordonner son travail, ou celui de son équipe le cas échéant, pour être présent lors des travaux visés par l'avis. Le principal défi du surveillant sera alors de s'assurer la collaboration de l'entrepreneur afin de limiter le plus possible les pertes de temps associées au report toujours possible de certains travaux (report de quelques minutes ou de quelques heures ou, encore au lendemain).

Bien qu'il faut l'éviter le plus possible, le surveillant ne doit pas hésiter à arrêter les travaux si les avis remis par l'entrepreneur sont systématiquement erronés. Le but ultime de recevoir des avis de l'entrepreneur est de suivre les travaux de serrage des boulons sans pourtant y consacrer un temps excessif. De même, si l'ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage n'est pas présent au chantier pour réaliser le premier contrôle mentionné plus loin dans ce chapitre, le surveillant doit arrêter les travaux et n'autoriser leur reprise qu'une fois celui-ci disponible, il doit également aviser l'entrepreneur que les retards seront de sa responsabilité.

Si le serrage à bloc du premier joint réalisé lors d'un quart de travail n'est pas réalisé correctement, le surveillant devrait être présent lors du serrage à bloc d'un deuxième joint pour s'assurer que l'entrepreneur exécute correctement ce type de travail.

Alignement des poutres principales

Une section de poutre doit être retenue par des boulons (serrés manuellement) et des chevilles d'assemblage en remplissant au moins 50 % des trous des joints de chantier avant qu'elle soit détachée des équipements de levage, comme indiqué au CCDG. Cette exigence est nécessaire pour assurer le meilleur alignement possible, avant l'ajustement final, de deux sections de poutres avant de laisser la gravité faire son œuvre. En effet, le remplissage préalable d'au moins 50 % des trous permet de reproduire l'alignement des sections de poutres établi lors du prémontage en usine

sans endommager les trous et de transférer les efforts au joint en toute sécurité. Comme ce sont les chevilles d'assemblage qui permettent le mieux d'aligner les trous, ce sont ces dernières qui doivent être réparties le plus en rive possible. En effet, les chevilles d'assemblage ont un diamètre qui correspond à celui des trous, et elles doivent toujours être insérées à l'aide d'impacts (marteau pneumatique ou manuel). Les boulons serrés à la main ne servent qu'à empêcher les plaques de se séparer.

Avant de procéder à l'ajustement des poutres principales (verticalement et horizontalement), les sections d'une poutre doivent être déposées sur ses appuis. Cela se fait soit sur des appuis temporaires (à proximité du pont), soit à la fois sur des appuis permanents (unités de fondation) et sur des appuis temporaires situés en travée (dans l'alignement de la poutre) comme indiqué sur la procédure de boulonnage. Lorsque les sections d'une poutre sont déposées sur des appuis temporaires, l'élévation de ces appuis doit être ajustée selon le profil longitudinal exigé; cette élévation doit être vérifiée par le surveillant avant de procéder.

L'enlèvement des chevilles d'assemblage ne se fait qu'après le serrage final des boulons remplissant les autres trous du joint (voir la partie « serrage final des boulons » de ce chapitre). Le retrait des chevilles, à la suite du serrage final, s'effectue toujours de la même manière que celles-ci ont été insérées, c'est-à-dire difficilement, au point où elles doivent être coupées à ras, percées et sorties par impacts.

Les boulons de préassemblage peuvent être des boulons permanents ou des boulons temporaires. Dans ce dernier cas, ils doivent être marqués avec de la peinture rouge avant le début des travaux de boulonnage afin qu'il soit possible de vérifier facilement qu'ils ont été effectivement remplacés par de nouveaux boulons serrés de façon contrôlée une fois l'assemblage complété. Les boulons temporaires peuvent être enlevés dès que l'entrepreneur juge que le joint a suffisamment de boulons permanents serrés à bloc pour maintenir les pièces assemblées.

L'ajustement des pièces métalliques durant l'érection ne doit pas induire d'effort permanent dans l'ouvrage et les chevilles d'alignement ne doivent pas ovaliser les trous ou déformer les parois des pièces. Si le nombre de chevilles nécessaires à l'ajustement des pièces est supérieure à 4 pour un même assemblage, possiblement en raison d'un mauvais alignement des sections de poutres, ou plus rarement, à cause d'une défectuosité géométrique de l'assemblage, ou si des méthodes contraires aux règles de l'art sont requises pour l'ajustement des sections de poutres, le surveillant se doit d'arrêter temporairement les travaux et de demander une bonification de la procédure de montage et de boulonnage. Il peut également consulter le concepteur afin de comprendre d'où proviennent ces difficultés.

Selon les indications du concepteur, le surveillant doit alors, au besoin, demander à l'entrepreneur de lui présenter une procédure pour corriger le problème, selon les modalités de l'article 7.10 « Travaux défectueux » du CCDG. Il est important de noter que l'alésage des trous des pièces métalliques est interdit (voir CCDG), sauf lors du remplacement de rivets par des boulons sur une structure existante, afin de corriger le désalignement des trous, ce qui est fréquent sur ce type d'assemblage.

Une fois l'alignement des poutres complété, le surveillant doit ensuite veiller à ce que la poutre soit ajustée sur toute la longueur de la travée selon les alignements vertical et horizontal prévus aux plans, en tenant compte notamment de la cambrure spécifiée pour la charge permanente.

Une fois l'alignement terminé, l'entrepreneur complète le remplissage des trous demeurés vides jusqu'à maintenant par des boulons permanents eux aussi serrés à bloc, tout en conservant les chevilles d'assemblage en place.

De plus, afin de s'assurer que les contrôles de réception des boulons sont toujours valides, il faut respecter un délai maximal de 10 jours entre la sortie des contenants étanches et le serrage final dans le cas des boulons non galvanisés. Ce délai est de 30 jours pour les boulons galvanisés. Bien que dans le CCDG il soit question d'un délai commençant par la mise en place du boulon, il faut comprendre qu'il s'agit d'une période d'exposition aux intempéries avant le serrage final. Si les boulons restent exposés aux éléments au-delà de ce délai, leur condition de surface risque de changer. Ces changements peuvent être de microscopiques corrosions par piqûres, mais il s'agit surtout de pertes de lubrification. Dans le cas où ces délais sont dépassés, un essai de capacité de rotation doit être réalisé sur trois boulons de l'assemblage ne respectant pas ce délai, et ce, pour chaque lot de boulons assemblés. Ces trois boulons doivent être représentatifs des conditions d'exposition de l'assemblage, donc prélevés à même l'assemblage. En cas de non-conformité d'un des essais, tous les boulons de l'assemblage, pour le lot de boulons en question, doivent être remplacés. Il n'est pas permis d'appliquer une nouvelle lubrification.

Longueur des boulons

Il est habituellement demandé dans les plans que les filets des boulons ne soient pas interceptés par les plans de cisaillement. La portion non filetée du boulon doit être suffisamment longue pour que les filets ne se retrouvent pas vis-à-vis de l'interface située entre les pièces à assembler. Cette portion ne doit pas, par contre, être trop longue, car si elle excède l'épaisseur totale des pièces à assembler, il est alors impossible de comprimer les pièces entre elles, ce qui rend l'assemblage non fonctionnel. La longueur de la portion filetée qui excède l'écrou donne une bonne indication de la quantité de filets restants. En effet, la partie filetée est légèrement inférieure au double de l'épaisseur de l'écrou. À la suite du serrage final, une façon simple de vérifier la quantité de filets restants consiste à prendre un boulon de même diamètre, de serrer l'écrou manuellement au fond des filets et d'appuyer l'extrémité de la tige de ce boulon sur l'écrou de celui en place. Si l'extrémité de la tige de celui en place ne touche pas à l'écrou du second boulon, cela indique que la longueur du boulon en place est adéquate. Dans le cas contraire, on doit remplacer ce boulon. Pour un assemblage par contact, qui peut se produire en cas de glissement de l'assemblage sous une charge exceptionnelle, il est important de noter que la résistance en cisaillement est augmentée lorsque les filets ne sont pas interceptés par les plans de cisaillement entre les pièces à assembler. Le surveillant doit donc s'assurer que la longueur des boulons indiquée aux plans de montage est conforme à cette exigence.

Serrage à bloc des boulons

Le serrage à bloc est défini dans la norme S6 comme étant la tension requise pour mettre toutes les pièces en contact parfait et amorcer une tension minimale dans les boulons. Concrètement, ceci est obtenu lorsque tous les boulons de l'assemblage ont atteint une tension minimale correspondant à 15 % ± 3 % de la tension minimale exigée pour le serrage final. Notons que l'efficacité du serrage final est relativement peu affectée par la précision du serrage à bloc, d'où une marge d'erreur de ±3 %.

L'élément le plus important en ce qui concerne le serrage à bloc est la notion de surfaces en contact parfait. Dans le cas de plaques épaisses gauchies ou bombées, cette tension peut être atteinte sans que les plaques ne soient en contact parfait, ce qui n'est pas acceptable. Il ne faut donc pas hésiter à très fortement serrer, à la limite de la rupture, quelques boulons temporaires « sacrificiels » afin d'obtenir ce contact parfait. Les boulons temporaires doivent être peints en rouge. Les boulons permanents sont ensuite mis en place et serrés à bloc sur l'ensemble des trous restants. Les boulons temporaires sont remplacés, un à un, une fois tout le reste des autres boulons serrés à bloc ou final.

Les méthodes autorisées au devis spécial pour le serrage à bloc sont le serrage manuel (à l'aide d'une clé à mâchoires standard et sans extension) et le serrage avec une clé à percussion ajustable (réglée de manière à obtenir la tension exigée dans le boulon à l'étape du serrage à bloc ou ayant une capacité maximale ne dépassant pas cette tension).

Puisqu'il est interdit au CCDG de se servir du couple de serrage des boulons comme méthode de serrage ou de vérification du serrage, il est inutile de calibrer une clé dynamométrique (« *torque wrench* ») lors du contrôle de réception des boulons. La raison est que le couple de serrage mesuré par la clé dynamométrique est uniquement fonction de la friction entre l'écrou et la rondelle, et l'écrou et les filets. Il n'est qu'indirectement lié à la tension dans le boulon. En mécanique automobile, il est particulièrement utile puisqu'il permet de s'assurer que les boulons ne se desserreront pas. En structure, ce n'est pas suffisant, car on recherche une tension minimale dans le boulon afin de développer la friction entre les éléments. C'est pour cette raison que l'on interdit l'utilisation, voire la présence, de la clé dynamométrique sur les chantiers.

L'inspection du serrage à bloc doit permettre de desserrer manuellement le boulon sans avoir à utiliser une force exceptionnelle, à l'aide d'une clé à mâchoires conventionnelle sans rallonge. La notion de « force exceptionnelle » est plutôt subjective, mais pourrait correspondre, par exemple, à un bras pour un ouvrier de gros gabarit et à deux bras pour un plus petit gabarit. Il est évident qu'une certaine adaptation individuelle doit être prévue et le contrôle de réception est une très bonne occasion de « calibrer » son bras pour la vérification du serrage à bloc. Il s'agit de demander à l'ouvrier effectuant le contrôle de réception d'interrompre le serrage afin de desserrer manuellement quelques boulons. Comme ces boulons n'ont pas été serrés au serrage final, ils peuvent être resserrés afin de compléter les essais. L'important est d'être en mesure de desserrer manuellement les boulons. S'il est impossible de desserrer manuellement un boulon, il

ne faut pas hésiter à le refuser, puisqu'il est maintenant impossible de savoir s'il est dans le domaine élastique ou plastique, ce qui pourrait causer la rupture du boulon lors du serrage final.

Cependant, il n'est pas nécessaire d'atteindre très précisément la tension demandée lors du contrôle de réception. En effet, la tension au serrage à bloc n'a qu'une influence limitée sur celle obtenue lors du serrage final comme le démontre la figure 7.6-1. Le serrage à bloc est toujours dans la portion presque verticale de la courbe contrainte-déformation (zone élastique), tandis que le serrage final est dans la partie plutôt horizontale (zone plastique) de cette courbe. Donc, pour une variation importante de la force du serrage à bloc, la variation de la force du serrage final est plutôt négligeable. L'objectif principal du serrage à bloc est par conséquent de mettre les pièces en contact parfait et d'amorcer la tension dans le boulon.

Après le serrage à bloc de tous les boulons de grands assemblages, il est possible que le serrage à bloc de quelques-uns soit à reprendre. La raison principale est que les plaques n'étaient pas tout à fait en parfait contact lors du premier serrage à bloc et que c'est le serrage des autres boulons à proximité qui a permis d'obtenir le contact. La vérification du serrage à bloc doit donc être effectuée après que l'ouvrier a confirmé que le serrage à bloc de tous les boulons du joint est terminé.

Marquage des boulons

Une fois le serrage à bloc jugé conforme, et suivant l'autorisation du surveillant, l'entrepreneur peut procéder au marquage des boulons. Ce marquage doit s'effectuer sur chaque écrou vis-à-vis de l'arête la plus près de la position midi et sur le demi-diamètre du boulon à la même position, comme montré à la figure 7.6-2. Ce sont les seules marques utiles pour l'étape de marquage des boulons. À des fins pratiques, l'entrepreneur ajoutera des marques, vis-à-vis de celles déjà effectuées, sur la pièce. Ce procédé est nécessaire puisque, lorsque l'ouvrier installera l'outil servant au boulonnage, il ne lui sera plus possible de voir les marques sur l'écrou. Cette exigence du CCDG, quant à l'arête la plus rapprochée de la position midi, permet de vérifier rapidement la qualité du serrage final.

Il est important de préciser que le marquage doit être entièrement réalisé, pour un même assemblage, avant que soit autorisé le serrage final. En effet, il est déjà arrivé que l'entrepreneur effectue le marquage des boulons après le serrage final.

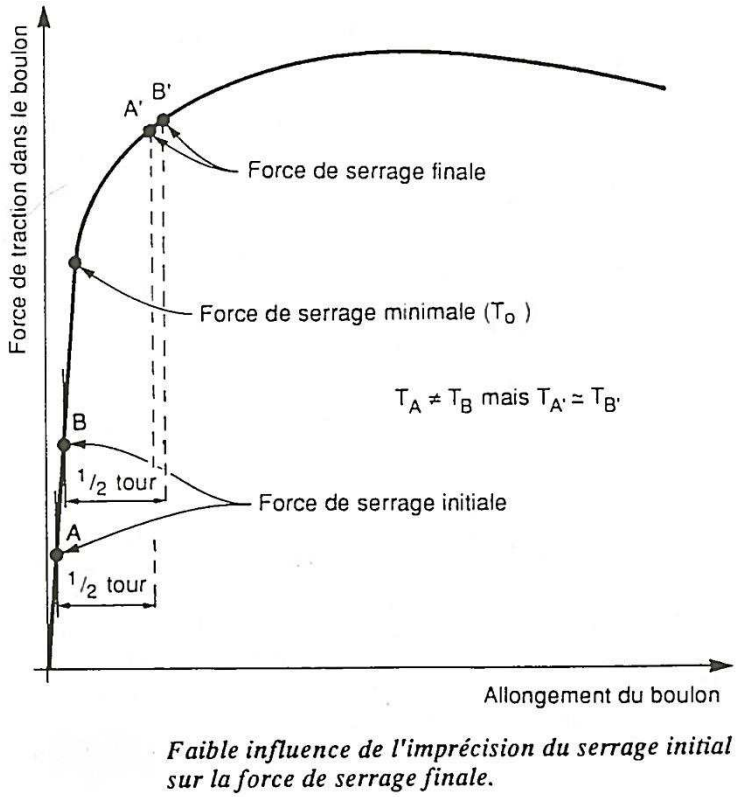


Figure 7.6-1 Influence du serrage à bloc sur le serrage final[1]

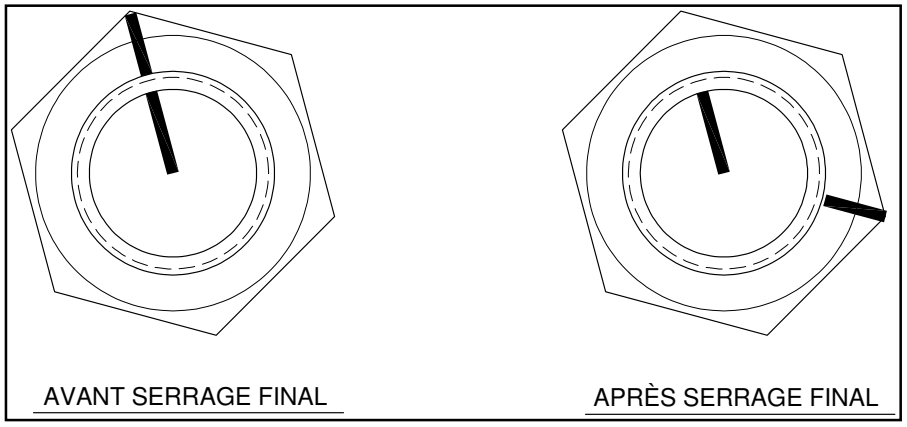


Figure 7.6-2 Exemple de marquage du boulon et de l'écrou pour un serrage final à 1/3 de tour

[1] Picard & Beaulieu, « Calcul des charpentes d'acier », 1991

Serrage final des boulons

Le serrage final est défini dans la norme S6, et consiste à déformer les filets et à étirer la tige du boulon jusqu'à atteindre une tension correspondant à au moins 70 % de la résistance à la traction minimale (F_u) des boulons.

Comme cela a été mentionné auparavant, le serrage final est effectué selon la méthode de rotation de l'écrou. Cette méthode consiste à vérifier la fraction de tour de l'écrou relativement à la tige du boulon, peu importe que l'on tourne l'écrou ou le boulon. Après avoir fait le marquage, l'écrou ou le boulon est tourné selon les indications de la figure 7.6-2.

La tolérance de rotation admissible est de +30 ° ou +1/12 de tour.

À titre d'information, l'allongement élastique théorique du boulon pour une rotation de l'écrou de 1/3 de tour est de 0,94 mm pour un boulon de 7/8 pouce (pas de filets de 9 filets/pouce). L'aire de la partie non filetée est de 388 mm^2, tandis que celle de la partie filetée est de 298,7 mm^2 (calcul selon la méthode ASTM F3125). Bien que l'aire de la partie filetée soit plus petite, elle est également beaucoup plus courte que celle de la partie non filetée. Par la théorie élastique, la majeure partie de l'élongation devrait se produire dans la partie non filetée. Mais en réalité, au serrage final, il y a début de plastification des filets, ce qui diminue considérablement l'allongement réel des boulons.

Mentionnons qu'il est toujours interdit de se servir d'une clé dynamométrique au chantier pour le serrage final. Cependant, cela ne pose en réalité aucun problème puisqu'à l'étape du serrage final, ce n'est plus une tension ni un couple que l'on doit mesurer, mais plutôt une fraction de tour de l'écrou. Il est donc complètement inutile de viser une lecture de couple de serrage, puisque c'est la fraction de tour qui est le seul critère à considérer.

Le serrage final doit se faire à partir de la partie la plus rigide de l'assemblage vers les bords libres. La partie la plus rigide est celle constituée des pièces les plus épaisses ou le centre de l'assemblage.

Après le serrage final et afin de développer la pleine capacité de chaque boulon, l'extrémité filetée de ce dernier doit au minimum être au même niveau que le pourtour de l'écrou; c'est ce que l'on nomme le « flush nut ». Par contre, il faut s'assurer de ne pas avoir une longueur excédentaire trop grande, ce qui pourrait entraîner que la partie non filetée du boulon excède l'épaisseur des pièces à assembler; Pour éviter cette situation, il faut vérifier que la longueur des boulons utilisés est conforme aux indications des plans de montage visés par le concepteur.

Tous les boulons qui ont été desserrés après le serrage final ne peuvent pas être réutilisés et doivent être remplacés par de nouveaux boulons. Bien que la norme CSA S6 permette une réutilisation des boulons A325 (deux serrages maximum), cette pratique est interdite au CCDG en raison de la difficulté de contrôler

l'« historique » de chaque boulon. Tout boulon ayant subi un serrage final et devant être retiré doit donc être jeté ou peint en rouge afin qu'il ne soit pas réutilisé comme boulon permanent.

Remplacement des chevilles d'assemblage

À la suite au serrage final de tous les boulons de l'assemblage, la dernière étape consiste à remplacer successivement les chevilles d'assemblages par des boulons permanents en suivant chacune des étapes décrites précédemment (serrage à bloc, marquage et serrage final).

Mentionnons que l'importance de procéder ainsi réside dans le fait que l'alignement du joint doit être conservé à toutes les étapes de mise en place des boulons et ce sont principalement les chevilles d'assemblage qui nous permettent de le conserver jusqu'au serrage final de tous les boulons.

Déplacement de poutres assemblées

Lorsque le montage des sections d'une poutre se fait ailleurs qu'à leur emplacement définitif, le déplacement d'une poutre assemblée vers son emplacement définitif ne peut se faire qu'après que tous les boulons de tous les joints de chantier de cette poutre soient en place et serrés au serrage final. Cette exigence du CCDG est importante pour éviter tout désalignement possible des sections composant la poutre.

Serrage final des boulons de tous les joints boulonnés avant l'ajout de charges supplémentaires

Afin d'éviter une modification des cambrures ou de causer des déflexions indésirables, il est important que le serrage final de tous les assemblages boulonnés ait été entièrement complété avant le début du coffrage de la dalle ou la mise en place d'une plate-forme de travail. Cela ne touche pas uniquement les joints de chantier des poutres principales, mais bien tous les assemblages, puisqu'il peut se produire une rotation du tablier lors d'une mise en place débalancée du coffrage. Une passerelle d'accès localisée aux joints de chantier, pour le boulonnage, peut par contre être tolérée.

Dans le cas de ponts ayant plusieurs travées, cette exigence devient très contraignante pour l'entrepreneur. Le CCDG permet l'ajout des surcharges de construction en autant que deux travées adjacentes à celle visée par l'ajout des charges aient un serrage final complet des joints de chantier.

Contrôles de la qualité de l'entrepreneur et du surveillant

Le serrage des boulons est assujetti contractuellement à deux contrôles de la qualité. Le premier contrôle consiste à vérifier de façon conjointe le serrage d'un certain nombre de joints de chantier d'une poutre principale. Le deuxième contrôle ne concerne que l'entrepreneur et il consiste à vérifier et à suivre les travaux de boulonnage de tous les assemblages afin que l'ingénieur de l'entrepreneur puisse compléter adéquatement l'avis à remettre en fin de boulonnage.

Premier contrôle de la qualité

Ce premier contrôle qui ne s'applique qu'aux joints de chantier des poutres principales est nécessaire pour que le surveillant puisse avoir une assurance élevée que le serrage des boulons de l'ensemble des joints de chantier des poutres principales soit réalisé correctement.

Le contrôle est réalisé de façon conjointe, ce qui signifie qu'il est effectué en même temps par le surveillant et par l'ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage. Cette façon de faire est importante pour que les ajustements nécessaires puissent être faits rapidement sans nuire au calendrier des travaux ni à la qualité du serrage.

Le nombre de joints faisant l'objet de ce contrôle est indiqué au devis spécial par le concepteur. Il correspond habituellement à un minimum de 20 % de l'ensemble des joints de chantier des poutres principales, avec un minimum de 2. Il se peut par contre qu'un projet en particulier fasse l'objet d'un plus grand nombre de joints compte tenu de la complexité de l'ouvrage à construire.

Les joints faisant l'objet du contrôle sont choisis par le surveillant. Puisque l'ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage doit être présent lors du contrôle, cela réduit la marge de manœuvre du surveillant quant à l'effet « surprise » des contrôles, car l'ingénieur doit être avisé à l'avance pour assurer sa présence. Le premier joint devrait faire partie des joints à contrôler afin que les travaux partent du bon pied. Les autres joints sont choisis en fonction du déroulement des travaux du premier joint et de la disponibilité de l'ingénieur de l'entrepreneur; par contre, le surveillant ne doit pas regrouper les joints à contrôler dans la même journée de travail sous prétexte de faciliter les choses pour cet ingénieur. S'il y a plusieurs équipes de travail en même temps, le surveillant devrait choisir qu'une partie des joints à des fins de contrôle afin de conserver un tant soit peu de l'effet de surprise. Mentionnons que l'exigence quant à la présence de l'ingénieur de l'entrepreneur est importante, car non seulement il est le plus apte à détecter toute anomalie éventuelle, mais il l'est aussi pour résoudre le problème.

Puisque le surveillant doit vérifier seul un certain nombre de joints additionnels (autres que ceux soumis à l'inspection conjointe), l'effet surprise est alors plus présent et permet d'augmenter de façon importante l'assurance du surveillant quant à la qualité des travaux de boulonnage. Le surveillant devrait procéder à des inspections supplémentaires sur des joints pour chaque équipe de travail et tant et aussi longtemps qu'il n'est pas en pleine confiance du travail réalisé.

Le contrôle est réalisé comme suit pour chaque joint choisi par le surveillant (inspection conjointe et supplémentaire) :

- à chaque étape principale de la procédure de boulonnage (serrage à bloc, marquage et serrage final);
- présence de l'ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage, et ce, pour chacune des étapes citées précédemment (inspection conjointe);

- pour le serrage à bloc, sur 10 % des boulons du joint (6 boulons minimum). Si le serrage à bloc d'un de ces boulons n'est pas conforme, tous les boulons du joint doivent être vérifiés; les boulons n'ayant pu être desserrés au serrage à bloc doivent être remplacés. Cette dernière exigence du devis spécial est importante, car il se peut que certains des boulons fautifs aient été endommagés la suite d'un serrage incontrôlé. Une bonne façon de s'assurer que ces boulons ne sont pas utilisés à nouveau par inadvertance consiste à les peinturer avant leur enlèvement. Le surveillant doit aussi s'informer auprès de l'ingénieur de l'entrepreneur sur l'origine du problème et si la procédure de boulonnage elle-même est mise en cause, celle-ci doit être bonifiée avant de poursuivre les travaux;
- pour le marquage, la vérification de l'exactitude des marques de tous les boulons et écrous avant le serrage final;
- pour le serrage final, la vérification de la rotation relative de chaque boulon et son écrou. Puisque la position des marques varie d'un boulon à l'autre, bien qu'étant près de la position midi, une façon simple de s'assurer rapidement que la rotation demandée a été respectée consiste, par exemple, à utiliser une douille en acier ayant deux lignes distancées de la valeur de rotation demandée. Les boulons qui ne respectent pas la rotation relative demandée doivent être remplacés selon une procédure spéciale signée par l'ingénieur signataire de la procédure de boulonnage. Ce remplacement, qui est nécessaire pour les mêmes raisons que celles invoquées plus haut pour le serrage à bloc, doit se faire selon cette procédure spéciale, car le remplacement peut porter atteinte à la capacité du joint dépendant du nombre et de l'emplacement des boulons à remplacer.

Rappelons que le défi principal des intervenants (surveillant, ingénieur signataire de la procédure de boulonnage et ouvriers) consiste à coordonner les travaux pour que les deux premiers intervenants puissent être présents près des travaux en cours aux différents moments indiqués plus haut. Cette coordination devrait faire partie des sujets à discuter lors de la réunion préalable au boulonnage.

Deuxième contrôle de la qualité

Ce deuxième contrôle, qui s'applique cette fois-ci à tous les autres assemblages, doit être réalisé par l'ingénieur signataire de l'avis (attestation de conformité) pour qu'il puisse avoir une assurance élevée que les travaux de boulonnage sont réalisés correctement et qu'il signe en connaissance de cause l'avis qu'il a à remettre au surveillant. Contrairement aux joints sujets au premier contrôle, où la présence au chantier de cet ingénieur est obligatoire, ce dernier doit juger du niveau de sa présence nécessaire au chantier; ce niveau peut évidemment varier, notamment en fonction de l'expérience de ses équipes d'ouvriers, de l'ampleur et de la complexité des travaux. Il serait tout de même inacceptable que cet ingénieur signe des avis de conformité sans avoir effectué un minimum de vérifications, ce qui serait contraire à la déontologie des ingénieurs.

L'ingénieur signataire de l'avis (attestation de conformité) pour les joints de chantier des poutres principales doit être le même que celui qui a signé la procédure de boulonnage

soumise. Cette exigence du devis spécial est nécessaire pour ces joints structuralement critiques puisque l'ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage est le plus apte à déceler toute anomalie lors des travaux.

Mentionnons que la définition de la conformité des serrages à bloc et finaux sont les mêmes que celle mentionnée pour le premier contrôle de la qualité, à l'exception de la fréquence qui est établie selon le jugement de l'ingénieur de l'entrepreneur.

Avis de l'entrepreneur (attestation de conformité)

À la suite du deuxième contrôle de la qualité mentionné précédemment et compte tenu des problèmes de conformité rencontrés par le passé ainsi que de l'importance cruciale d'une mise en place adéquate des boulons pour obtenir un ouvrage sécuritaire et durable, l'entrepreneur doit, où il y a eu installation de boulons dans les joints de chantier des poutres principales, remettre au surveillant un avis écrit signé par l'ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage attestant que ces boulons ont été mis en place selon les exigences des plans et devis ainsi qu'à celles de la procédure de boulonnage validée. Cet avis, demandé au CCDG, doit aussi mentionner les assemblages visés par l'avis ainsi que les dates et les heures des inspections faites par son signataire. Cette dernière exigence est importante pour que le surveillant ait une idée de l'ampleur du contrôle exercé par l'ingénieur qui est bien sûr à la base de l'avis remis par ce dernier. L'avis doit être remis dans les 48 heures suivant la fin des travaux de serrage des boulons visés par l'avis. Dans le cas des travaux réalisés en phases, l'entrepreneur doit remettre au moins un avis par phase.

Pour les assemblages autres que ceux des joints de chantier des poutres principales, l'entrepreneur doit fournir un avis tel que mentionné au paragraphe précédent, à l'exception que l'ingénieur signataire peut être un autre ingénieur que celui qui a signé la procédure de boulonnage.

7.7 MODIFICATION OU RÉPARATION D'OUVRAGES EXISTANTS

Lorsque les assemblages entre les pièces à remplacer et celles à conserver ne sont pas décrits dans les plans, ils sont alors identiques à ceux existants. En remplaçant les rivets ou les boulons par de nouveaux boulons ASTM F3125 de grade A325, et en choisissant la plupart du temps des alliages d'acier plus résistants que ceux en place, on s'assure que le nouvel assemblage a une capacité égale ou plus élevée que celui qu'il remplace. Dans le cas où les travaux font en sorte que des trous deviennent inutiles, que ce soit des nouveaux trous requis pour les travaux ou des trous existants, le CCDG demande d'y insérer des boulons afin de ne pas avoir de trous vides, et cela afin de limiter la corrosion ainsi que la propagation des fissures dans le cas d'un trou ayant été riveté.

Dans le cas du remplacement d'une membrure déjà en place, il est souvent demandé d'utiliser la pièce existante comme gabarit pour le perçage de la nouvelle membrure. Les plans ne peuvent donc indiquer tous les détails de perçage. Il est par conséquent acceptable dans ces cas de produire une première version des plans portant la

mention « à mesurer en chantier » par exemple. C'est cette première version qui sera visée par le concepteur. Une seconde version devra être produite, peu de temps après les travaux, afin d'indiquer les dimensions finales des pièces produites. Cette version n'aura pas à être visée par le concepteur, puisqu'il s'agit en fait d'un dessin « tel que construit » et qu'il est inutile de délivrer un visa sur une pièce déjà produite et mise en place. Le surveillant doit cependant rappeler fréquemment à l'entrepreneur la nécessité de ne pas attendre avant de produire les plans, puisqu'une fois la membrure en place, certaines mesures peuvent être plus difficiles à obtenir avec précision.

La méthode d'enlèvement des rivets consiste à cisailler la base de la tête de ces derniers à l'aide d'une cisaille et de marteler la tige du rivet jusqu'à ce qu'elle soit expulsée du trou. L'outil utilisé est un marteau pneumatique (burin à rivet, « *rivet buster* », « *buster gun* ») dans les deux cas, et ce n'est que l'embout qui varie en fonction de l'étape des travaux. Dans le cas de la tête des rivets, l'embout est aplati de manière à s'insérer entre la tête du rivet et la pièce. Pour marteler la tige du rivet, l'embout est plat avec un diamètre légèrement plus petit que la tige. On doit porter une attention particulière à l'enlèvement des têtes des rivets au moyen d'une cisaille afin de ne pas endommager les surfaces d'acier à conserver.

Les rivets étaient insérés à chaud dans des trous dont le diamètre était légèrement supérieur, il prenait tout l'espace disponible des trous des pièces à assembler, surtout du côté où il était martelé. Si les trous des pièces à assembler n'étaient pas bien alignés les uns par rapport aux autres, l'axe du rivet n'était pas nécessairement rectiligne, puisque le rivet était relativement malléable lors de sa mise en place.

Cette situation apporte une complication concernant l'enlèvement du rivet lorsque l'assemblage est composé d'au moins trois pièces; en effet, le rivet peut alors être impossible à enlever au moyen d'un marteau pneumatique. Il faut dans ce cas percer le rivet suffisamment profondément à l'aide d'une mèche emporte-pièce de diamètre extérieur légèrement plus petit que le diamètre théorique du rivet. Par la suite, un martelage de la tige centrale restante devrait permettre d'extraire le reste du rivet. S'il est toujours impossible de retirer la tige, l'utilisation d'un chalumeau, du côté de la tête restante, permettra de ramollir quelque peu la tige afin de rendre le martelage plus efficace. L'opérateur doit utiliser le chalumeau avec précaution pour ne pas abîmer les bords des trous. Cette opération est souvent suivie par l'alésage des trous pour permettre la pose des boulons. C'est d'ailleurs le seul cas où le CCDG permet l'alésage. Il est donc possible que les boulons aient un diamètre légèrement supérieur à celui des rivets dans le cas où l'alésage serait important.

Dans le cas d'un assemblage constitué par la superposition de plusieurs pièces à assembler dont toutes n'ont pas nécessairement les mêmes dimensions, il est nécessaire d'ajouter des fourrures afin de s'assurer que les nouvelles pièces sont bien appuyées sur les pièces existantes. Le surveillant se doit de consulter le concepteur lorsqu'une fourrure d'une épaisseur supérieure à 6 mm est requise, puisque cette dernière doit participer au transfert des efforts qui sollicitent l'assemblage, et l'ajout de boulons supplémentaires peut être nécessaire.

La préparation des surfaces d'acier des assemblages est effectuée selon les exigences du CCDG autant pour les pièces ajoutées que pour les pièces à conserver. Les surfaces des pièces déjà en place d'un pont existant sont préparées au chantier. La préparation des surfaces est nécessaire autant pour les assemblages soudés que pour les assemblages boulonnés.

7.8 MODE DE PAIEMENT

Bien que ce manuel soit muet quant aux modalités de paiement des ouvrages, puisque cet aspect est couvert par le *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*, les modalités de paiement relatives au paiement de l'acier au kilogramme sont exceptionnellement abordées; celui-ci est payé en prenant en compte les considérations suivantes :

- il ne faut pas tenir compte des trous de boulons dans le calcul de la masse des pièces ajoutées;
- il faut additionner la masse des boulons à celle des pièces ajoutées;
- il faut calculer la masse des pièces ajoutées et celle des boulons à partir des données théoriques données dans le manuel *Handbook of Steel Construction,* publié par l'Institut canadien de la construction en acier (ICCA). Il ne faut considérer que la masse des pièces réellement en place; les rebuts résultant du découpage des pièces de formes irrégulières ne doivent donc pas être pris en compte;
- il ne faut pas tenir compte de la masse du zinc si les pièces sont galvanisées ou métallisées, et ce, tel qu'indiqué dans les articles 15.14.2.3 « Mode de paiement » et 15.14.3.3 « Mode de paiement » du CCDG.

PHOTOGRAPHIES

OUVRAGES EN ACIER ET EN ALUMINIUM



Protection des pièces métalliques lors du transport



Ouvrage temporaire servant à la manipulation des poutres



Entreposage des matériaux au chantier



Ouvrage temporaire pour la mise en place des poutres par lancement



Banc temporaire servant de support pour la mise en place des poutres



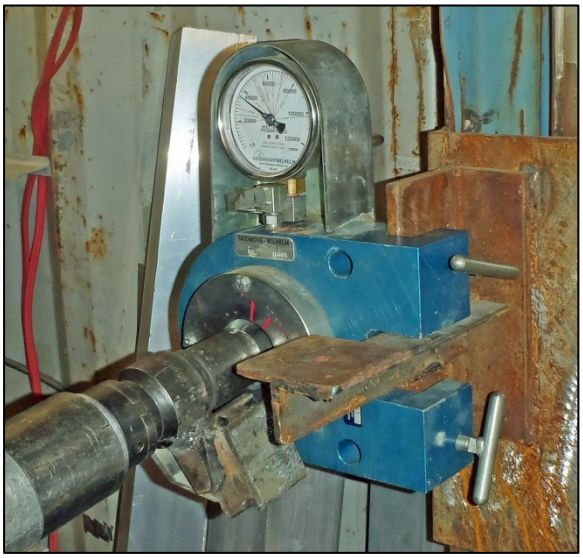
Perçage à la mèche avec gabarit (perceuse magnétique)



Préchauffage et soudage SAW âme-semelle d'une poutre



Culasse magnétique pour le contrôle par magnétoscopie



Montage typique pour le Tensiomètre « Skidmore-Wilhem »



Chevilles d'assemblage devant être retirées par perçage et martelage



Cisaillement de la tête de rivets à l'aide de la cisaille pneumatique



Gougeonneuse semi-automatique pour l'installation des goujons

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 7 – OUVRAGES EN ACIER ET EN ALUMINIUM

NOTES

- Ce chapitre traite des activités du surveillant concernant la fabrication en usine et des travaux réalisés au chantier
- Ce chapitre ne traite pas des ouvrages en aluminium
- Le rôle du surveillant :
  - *Pour la fabrication de poutres principales*
    - → Mandater la DCQM (par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services)
    - → Coordonner l'ensemble du dossier
    - → Faire le suivi des mémos de chantier émis par le laboratoire
  - *Pour la fabrication des autres éléments de pont*
    - → Informer la DCQM (audits : par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services)
- Les principaux documents de base à consulter en cas de problèmes au chantier
  - *Norme CAN/CSA S6*
  - *Norme CSA W59*
- Les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes mentionnées dans ce chapitre et émises par l'Association canadienne de normalisation (CSA)

DOCUMENTS REQUIS

Plans d'atelier

- À fournir 2 semaines avant la réunion préalable à la fabrication
- Procédures de soudage et feuilles de données : requis pour l'approbation des plans d'atelier
- Plans d'atelier signés et scellés par un ingénieur et à viser par le concepteur
- Montre les détails des joints de chantier des poutres principales, les détails de fabrication et ceux relatifs au soudage
- Avant de préparer les plans d'atelier : fournir note de calcul (et détails) des joints de chantier des poutres principales modifiées ou non montrées aux plans de soumission (signés et scellés par un ingénieur). Note de calcul à viser par le concepteur
- Après la fabrication : inscrire numéro de coulée des pièces sur plans d'atelier « tels que construits » et fournir essai Charpy pour les MPT et MCR
- Ouvrage en acier existant : dimensions des éléments indiqués dans les plans doivent être vérifiées sur les lieux par l'entrepreneur

Procédures et Plans de montage

- À fournir 2 semaines avant le début du montage au chantier
- Documents signés et scellés par un ingénieur. Plans de montage à commenter par le concepteur

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Procédure de montage : décrit textuellement les étapes de montage et peut lister les différents équipements qui seront utilisés
- Plans de montage : montre l'assemblage des différentes pièces permanentes au chantier (dimensions, marquage, exigences de soudage au chantier, boulons)
- Plans et calculs du procédé de montage
  - *Montre la méthode de travail pour la mise en place des pièces (séquence, poids et points de levage, emplacement et capacité des grues; contreventements et autres ouvrages temporaires)*
  - *Montre les contreventements et autres ouvrages temporaires*
  - *Travaux de réparation : stabilité du pont existant à inclure*
- Ouvrages temporaires pour la manipulation des poutres : soudage interdit sur poutres

Procédure de boulonnage

- À fournir : 7 jours avant la réunion préalable au boulonnage (joints de chantier des poutres principales) ou 7 jours avant le début du montage au chantier (autres assemblages)
- Documents signés et scellés par un ingénieur (non visés par le concepteur)
- Certificat d'étalonnage : daté de moins de 12 mois (et inclure modèle de l'appareil et numéro de série du tensiomètre)
- Procédure de boulonnage : décrit la méthode et les équipements employés au chantier ainsi que la méthode d'ajustement des sections de poutres et la séquence de mise en place et de serrage des boulons des joints de chantier des poutres principales

Documents divers (voir **CCDG** pour liste complète)

- À fournir 7 jours avant le début de la fabrication ou du soudage au chantier (sauf pour les documents relatifs au transport : 14 jours avant le transport)
- Procédures de soudage et documents relatifs au transport : signés et scellés par un ingénieur
- Soudures réalisées au chantier (joints et pointes dans pieux, joints de tablier et fixation des appareils d'appui) : l'entrepreneur doit fournir :
  - *Certification de l'entreprise de soudage*
  - *Liste des soudeurs (et cartes de compétence)*
  - *Nom de l'inspecteur en soudage du laboratoire d'inspection de l'entrepreneur (carte de qualification de l'inspecteur : voir aussi le site Internet du Bureau canadien de soudage*
  - *Nom du laboratoire d'inspection de l'entrepreneur (voir aussi le site Internet du Bureau canadien de soudage) :*

    https://www.cwbgroup.org/
  - *Approuvée par l'ingénieur du fabricant et le Bureau canadien de soudage*
  - *Vérifier : position de soudage, préchauffage et postchauffage, préparation des joints et du métal de base, etc.*
- Feuille de données
  - *Fait partie de la procédure de soudage*
  - *Vérifier : type d'électrode, nombre de passes, courant, vitesse de soudage, etc.*
- Documents relatifs au système de support des poutres
  - *Nécessaire si poutres transportées avec âme à l'horizontale*

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

EXIGENCES DE CONCEPTION

- S'adressent essentiellement au concepteur et à l'ingénieur de l'entrepreneur
- Calculs et plans d'atelier des joints de chantier ajoutés ou relocalisés sur les poutres principales
- Joints dans les pieux en acier : soudures pleine pénétration
- Ouvrage temporaire servant à la manipulation des poutres : ne doit pas être soudé à la poutre

MATÉRIAUX

Métal d'apport

- Électrodes : compatibles avec le métal de base (choix des électrodes : voir la feuille de données de la procédure de soudage; le nº de la procédure est indiqué dans la queue du symbole de soudage des plans d'atelier)

Acier de construction

- Normes 6101 et 6301 du Ministère
- Acier ASTM A 588 grade B : considéré comme équivalent à l'acier 350A (CAN/CSA G40.21)

Boulons, tiges d'ancrage, écrous et rondelles en acier

- Norme 6201 du Ministère
- Identification des boulons à haute résistance, écrous et rondelles : voir la figure 7.3-1
- Boulons utilisés : selon les plans d'atelier et les plans de montage
  - *A307 : éléments secondaires des glissières en acier*
  - *A325 type 1 : acier noir (ou galvanisé lorsque les pièces à assembler sont galvanisées ou métallisées)*
  - *A490 type 1 : acier noir*
  - *A325 ou A490 type 3 : lorsque l'ouvrage est fabriqué avec acier atmosphérique*
  - *F1852 ou F2280 si exigés aux plans et devis*
- Écrous des boulons ASTM F3125 : selon normes ASTM A563 (voir la figure 7.3-1) ou ASTM A194 (voir la figure 7.3-1)
  - *Écrous galvanisés lorsque les boulons sont galvanisés (lubrifiant coloré obligatoire)*
- Rondelles en acier trempé : selon norme ASTM F 436
- Tiges d'ancrage (ou selon les plans et devis)
  - *CAN/CSA G40.21, 350W : garde-fous en acier et glissières de type 211A*
  - *ASTM F 1554 grade 105 ou ASTM A 449 : glissières en acier*
  - *ASTM F 1554 ou ASTM A 449 : appareils d'appui (ou selon les plans)*

Goujons

- Norme CAN/CSA S6
- Acier n'ayant pas de résistance à la corrosion atmosphérique

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

- L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*

Acier de construction

- Certification de l'entreprise (soudage)
  - *Divisions 1 ou 2 (division 3 suffisante pour les drains, les drains d'interface et les soudures d'étanchéité des joints d'assemblage des joints de tablier). Division 1 pour les ouvrages non courants (voir devis spécial)*
- Attestation de conformité à obtenir de l'acier (chaque réception d'acier au chantier)
- Contrôle de réception pour travaux de réparation impliquant du soudage au chantier
  - *Mandater la DCQM (par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) pour l'acier livré au chantier (soudabilité de l'acier, résilience, etc., à vérifier)*

Boulons, tiges d'ancrage, écrous et rondelles en acier

- Attestation de conformité à obtenir : en provenance de l'acheteur des boulons (soit le fabricant de l'ouvrage en acier)

Contrôle de réception des boulons

- À faire par l'entrepreneur (en présence du surveillant) avant le boulonnage (1er lot vérifié lors de la réunion préalable au boulonnage des joints de chantier des poutres principales)
- À faire quel que soit le nombre de boulons à mettre en place
- À faire au moyen d'un tensiomètre sur 3 boulons assemblés par lot de production de boulons assemblés (boulons choisis par le surveillant)
- Si la longueur des boulons l'exige, utiliser des fourrures appropriées et parfaitement en contact entre elles (ne pas utiliser des rondelles en acier)
- Serrage à faire comme suit : serrage à bloc selon la méthode indiquée à la procédure de boulonnage, marquage des pièces, serrage final et serrage final plus 30º (fraction de de rotation de l'écrou selon la longueur des boulons : voir la figure 7.4-2)
- Serrage à bloc : fait selon procédure de boulonnage (si 15 % ± 3 % de la tension minimale non respectée, procédure de boulonnage à réviser et refaire le serrage à bloc)
  - *Serrage à faire comme suit : serrage à bloc selon la méthode indiquée à la procédure de boulonnage, marquage des pièces, serrage au moyen d'une clé électrique ajustable (sans arrêt-départ) selon le degré de rotation spécifié à la figure 7.4-2*

    → Serrage à bloc : si 10 % de la tension minimale non respectée, procédure de boulonnage à réviser et refaire le serrage à bloc
- Remplir le formulaire F312.1 « Contrôle de réception des boulons » (voir la figure 7.4-2). Se procurer le formulaire sur le site Internet du Ministère
- Le lot de production de boulons assemblés est jugé non conforme si :
  - *La tension mesurée au serrage final (⅓, ½ ou ⅔ de tour) d'un des 3 boulons testés est inférieure à la tension minimale exigée (voir les 2 exemples dans ce chapitre)*
  - *Un délai de plus de 10 jours entre la mise en place des boulons et le serrage final a été noté et qu'un essai de capacité de rotation s'est révélé non conforme*

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- *Retirer du chantier tous les contenants de boulons d'un lot de production de boulons assemblés jugé non conforme*
- *Devrait répartir les contenants de boulons des lots jugés conformes (aux joints de chantier) pour que l'on puisse conserver la traçabilité des boulons une fois posés*

Goujons

- Attestation de conformité à obtenir
- Fabricant doit spécifiquement être certifié pour la fabrication de goujons du Bureau canadien de soudage

FABRICATION

- Interdit de cambrer ou cintrer à la chaleur une poutre à âme pleine
- Avant le départ des poutres de l'usine : nettoyage à faire si acier A ou AT
- Voir notes au début de cet aide-mémoire

RÉUNION PRÉALABLE À LA FABRICATION (poutres principales avec joints de chantier)

- Pour fabrication des poutres assemblées
- Surveillant : organiser et présider la réunion
- À tenir au moins 7 jours avant la fabrication (et après la remise des plans d'atelier visés et s'il y a lieu de la liste des sous-traitants du fabricant)
- Lieu de la réunion : à l'usine du fabricant et s'il y a lieu à l'usine de chacun de ses sous-traitants
- Inviter notamment le concepteur et le représentant de la DCQM (par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services)
- Ordre du jour (notamment) : remise des documents requis, échéancier de fabrication, responsabilités des intervenants et prémontage

DÉCOUPAGE

Au chantier

- Découpage au chalumeau sur autorisation du surveillant seulement (utiliser plutôt la scie), mais permis pour les joints soudés des pieux (si permis dans la procédure de soudage) et l'arasement des pieux
- Permis pour démolition d'éléments non conservés
- Prévoir meulage des derniers 3-5 mm et enlever les bavures et déformations du bord des plaques
- Arrondir les arêtes vives (rayon 1,5 mm) pour surfaces à peinturer ou à métalliser

PERÇAGE

- Perçage au chantier interdit de trous non spécifiés dans les plans
- Utiliser des gabarits et percer au moyen d'un emporte-pièce (oxycoupage interdit)

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Diamètre final des trous : voir les plans (ponts neufs) ou sur place (ponts existants)
- Enlever les ébarbures et autres déformations

SOUDURES

Généralités (au chantier)

- Soudures habituelles au chantier : joints soudés et pointes des pieux, joints de tablier et fixation des appareils d'appui
- Soudures interdites si non montrées dans les plans (même les soudures temporaires)
- Une fois les soudures terminées : nettoyer surfaces attenantes
- Procédé SMAW le plus couramment utilisé au chantier (électrodes HC)
- Procédés FCAW autorisé au chantier, mais protection contre le vent à prévoir
- Entreposage des électrodes
  - *Contenants scellés (utiliser four portatif une fois les électrodes retirées de son emballage : 120 °C)*
  - *Jeter les électrodes mouillées ou après 4 heures suivant le retrait de l'emballage ou du four*
- Signification des symboles de soudage : voir ce chapitre
- Préparation du métal de base : voir les procédures de soudage et les feuilles de données
  - *Préchauffage et le postchauffage : chalumeau au propane avec diffuseur*
    → Se référer à la procédure de soudage
    → Température ambiante < - 18 °C : soudage interdit
    → Température vérifiée avec un thermomètre infrarouge
  - *Surfaces à souder et surfaces adjacentes en contact : lisses, uniformes et exemptes d'arêtes, de fissures, etc.*
  - *Surfaces à souder : sèches, rayon de 50 mm : pas de calamine, de laitier, de rouille écaillée, de peinture, de zinc, de graisse, d'huile, etc.*
- Soudage des goujons
  - *Au moyen d'une machine à souder automatique (sauf indication contraire du concepteur)*
  - *Surfaces à souder : voir « Préparation du métal de base »*
  - *Inspecté selon les exigences de la norme CSA W59 dont :*
    → Bourrelet complet sur tout le pourtour des goujons
    → Essai de pliage à faire selon angle de 15° (1 essai sur 150 goujons)
      - Se fait progressivement au moyen d'un tuyau de 1 m de longueur ou à l'aide d'une masse
    → Refaire essai sur goujon réparé ou remplacé
    → Consulter le concepteur ou la DCQM (par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) si fissures dans goujons, soudures ou métal de base
  - *Goujon à enlever : couper à au moins 3 mm de la surface de la pièce de base et meuler ras dans le sens des contraintes principales le reste du goujon. Inspection par magnétoscopie requise*
- Soudures sur des pièces galvanisées
  - *Interdit sauf si zinc est enlevé sur un minimum de 75 mm de part et d'autre de la soudure*
  - *Ajouter protection anticorrosion sur soudures et surfaces adjacentes (article 15.14.2.2.4 du CCDG)*

Contrôle des soudures (au chantier)

- Inspection visuelle 100% par inspecteur avant, pendant et après le soudage de toutes les soudures
  - *Fait par l'inspecteur ou le superviseur (selon nature des travaux) en soudage (avant, pendant et après le soudage : voir l'article 15.7.5.4.2 du CCDG pour la portée de la vérification visuelle et le lien d'emploi de l'inspecteur en soudage)*
  - *Voir exigences déjà mentionnées sur « Préparation du métal de base », « Température ambiante » et « Soudures sur des pièces galvanisées »*
- Après le soudage
  - *Postchauffage si requis (voir la procédure de soudage)*
  - *Dimensions des soudures et défauts de surface (à corriger au besoin selon les procédures pour les réparations par soudage)*
  - *L'inspecteur ou le superviseur (selon nature des travaux) en soudage doit remettre rapport avant l'inspection finale par le surveillant*
- Contrôle par examens non destructifs (vérification visuelle et autres examens non destructifs)
  - *Fait par un laboratoire enregistré et un inspecteur certifié*
  - *Joints soudés des pieux : ultrasons (25 % des joints sur 100 % de leur longueur)*
  - *Fixation des appareils d'appui : magnétoscopie (100 % des soudures)*
  - *Modification ou réparation d'un ouvrage : examen magnétoscopique (soudures d'angle)*
  - *Fait en présence du surveillant (avis de 12 heures)*
  - *Avis verbal sur-le-champ et rapport à remettre dans 7 jours après les examens*
- Surveillant peut demander assistance technique (DCQM, par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services)

PRÉMONTAGE EN USINE (poutres principales avec joints de chantier)

- Essentiel pour faciliter le montage au chantier. Vérifier auprès du représentant dans l'usine que cela a été fait
- Plan de prémontage détaillé (lorsque requis) à fournir 14 jours avant le prémontage; à faire approuver par le concepteur
- Perçage des trous des joints de chantier : à l'aide d'une des plaques du joint servant de gabarit. Dans le cas d'une fabrication à l'aide d'une commande numérique, une des poutres doit être percés manuellement au prémontage

AUTORISATION DE LIVRAISON

- Première autorisation à faire avant l'application de revêtement. Vérifier auprès du représentant dans l'usine que cela a été fait
- Seconde autorisation après l'application du revêtement et avant que la pièce quitte l'usine. Vérifier auprès du représentant dans l'usine que cela a été fait
- Avis écrit à remettre à l'entrepreneur autorisant le transport

MANUTENTION, TRANSPORT ET MONTAGE

- Poutres soulevées par au moins 2 points de levage

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

Transport des poutres principales

- Vérifier la conformité aux plans du système de support

Manutention au chantier

- Entreposage des pièces : d'aplomb sur des supports en bois
- Inspection des pièces à l'arrivée au chantier
- Manutention : élingues non métalliques souhaitables (éviter contact avec la partie métallique d'un équipement)

Blocs d'assise et appareils d'appui

- Avant la mise en place des poutres : vérifier l'élévation des blocs d'assise
  - *Poutres en acier : plan d'arpentage signé par un ingénieur à fournir*
- Si appareil d'appui en élastomère fretté : béton du bloc > 20 MPa
- Si appareil d'appui à élastomère confiné : coulis > 20 MPa
- Appareils d'appui : voir chapitre 9 de ce manuel

Montage

- Vérifier la conformité du montage avec les procédures et les plans de montage ainsi qu'avec les plans et calculs du procédé de montage
  - *Avant le montage : protéger le béton des unités de fondation (taches de rouille, d'huile, graisse…)*
  - *Contreventements et autres ouvrages temporaires*

    → À la fin de chaque quart de travail : inspection par ingénieur (sans délégation) et avis écrit signé par cet ingénieur indiquant la conformité des contreventements et autres ouvrages temporaires mis en place

    → À enlever seulement quand le béton de la dalle a atteint 70 % de f'c
- Tablier construit en phases : les contreventements entre les phases sont mis en place après le bétonnage des deux phases en question. Les trous requis pour l'assemblage des contreventements ou diaphragmes entre les phases sont percés au chantier, sauf indication contraire dans les plans

JOINTS BOULONNÉS

Préparation des surfaces

- Pour les surfaces d'acier non galvanisé :
  - *Acier nu (SSPC-SP 6/NACE n° 3 ou SSPC-SP 15)*
  - *Apprêt de catégorie B*
  - *Métallisation*
- Pour les surfaces d'acier galvanisé : selon S6, nettoyage manuel à la brosse métallique (enlever apparence lustrée sans endommager le zinc)
  - *Généralement fait en usine*

Peinturage des surfaces apparentes des joints de chantier et des boulons

- Peinturage à faire après le serrage final (dégraissage préalable) : voir l'article 15.14.4.3.2 c) du CCDG (joint de chantier de poutres principales, assemblage de contreventement de ponts courbes et boulons)

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

Livraison et entreposage des boulons

- Livraison des boulons assemblés : dans des contenants scellés à l'usine du fournisseur de boulons assemblés
- Scellement des contenants livrés doivent être identifiés : voir CCDG
- Entreposage
  - *À l'abri des intempéries*
  - *Boulons inutilisés à la fin d'un quart de travail : doivent retournés dans leurs contenants d'origine*
  - *Boulons mal entreposés qui ne sont plus dans l'état qu'ils étaient à la livraison : rejet recommandé*

MISE EN PLACE DES BOULONS

- Écrous
  - *À placer du côté le moins visible (à moins d'une indication contraire dans les plans)*
- Rondelles
  - *Tous les types de boulons : sous l'élément que l'on tourne (boulon ou écrou)*
  - *Boulons A490 (si Fy des pièces $<$ 280 MPa) ou trous surdimensionnés: rondelles aux deux extrémités*
  - *Si pente égale ou supérieure à 1 :20 (rondelles biseautées) : se référer à l'article 10.24.6.5 « Rondelles biseautées » de la norme CAN/CSA S6*

Vérification sommaire des pièces percées en usine

- Diamètre des trous : voir les plans d'atelier (diamètre nominal du boulon + 2 mm)
- Distance minimale entre les centres des trous : environ 3 fois le diamètre du boulon
- Valeur minimale de la pince : environ 1,75 fois le diamètre du boulon

Procédure de boulonnage

- Voir partie « Documents requis » de ce chapitre

Réunion préalable au boulonnage (joints de chantier des poutres principales)

- Si ouvrage avec joints de chantiers sur les poutres principales
- Surveillant : organiser et présider la réunion
- À tenir au moins 7 jours avant le début de la mise en place des boulons (et après que la procédure de boulonnage soit jugée complète)
- Participants : l'entrepreneur général, l'ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage, le contremaître du sous-traitant chargé du boulonnage et un représentant de la DCQM (par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services)
- Ordre du jour : la revue de la procédure de boulonnage et des exigences contractuelles relatives au boulonnage ainsi que la vérification au tensiomètre d'au moins 1 lot de production de boulons assemblés

Vérification de la tension minimale des boulons

- Voir la partie « Assurance de la qualité » de cet aide-mémoire

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

Avis de l'entrepreneur (quart de travail)

- Pour joints de chantier de poutres principales
- À fournir au surveillant au début de chaque quart de travail
  - *Doit indiquer le premier joint serré à bloc durant le quart de travail*
  - *Doit indiquer le moment probable durant le quart de travail du serrage final des joints*
- Le surveillant doit être présent lors du serrage des boulons

Alignement des poutres principales

- Section de poutre n'est détachée qu'après le remplissage d'au moins 50 % des trous du joint (boulons serrés manuellement et chevilles d'assemblage répartis uniformément, chevilles en périphérie le plus possible)
- S'assurer que les trous des ouvrages temporaires servant au levage des poutres sont comblés par des boulons A325 (peinturés si poutres peinturées; sinon, galvanisés)
- Déposer les sections de chaque poutre sur ses appuis permanents ou temporaires (ajuster au préalable l'élévation des appuis temporaires selon le profil longitudinal prévu)
- Aligner les trous au moyen de chevilles d'assemblage (max. : 4 chevilles pour l'assemblage et alésage interdit) et de boulons de préassemblage serrés à la main
  - *Chevilles d'assemblage : à enlever à la toute fin après le serrage final de tous les autres boulons permanents*
  - *Boulons de préassemblage*
    → Permanents ou temporaires (si temporaires : peinturés en rouge)
    → Boulons temporaires à enlever dès que le joint a suffisamment de boulons permanents serrés à bloc
- Aligner les sections d'une poutre sur toute la longueur d'une travée (alignements vertical et horizontal prévus aux plans + cambrure spécifiée pour la charge permanente)
  - *Serrer ces boulons à bloc au fur et à mesure que l'alignement de la poutre progresse*
  - *Une fois l'alignement complété*
    → Compléter le remplissage des trous restants par des boulons permanents serrés à bloc (les chevilles toujours en place)
- Serrage finale complété sur au moins deux travées adjacentes à celle où des charges supplémentaires sont ajoutées (trois minimum travées boulonnées)

Longueur des boulons

- S'assurer que les boulons ont la bonne longueur (voir les plans de montage)
  - *S'assurer que l'extrémité filetée est minimalement au niveau de l'écrou*
  - *S'assurer que les filets des boulons n'interceptent pas les plans de cisaillement (lorsque cela est demandé aux plans)*
  - *S'assurer que la partie filetée des boulons est suffisamment longue pour permettre le serrage des pièces*
  - *S'assurer que la partie filetée restante est plus courte que la hauteur de l'écrou*

Serrage à bloc des boulons

- À faire selon la procédure de boulonnage (clé dynamométrique interdite)
- Serrage à bloc d'un boulon conforme : si le boulon peut être desserré avec une clé à mâchoires standard (sans rallonge)

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Une fois terminé
  - *Vérifier que les pièces à assembler sont en contact*
  - *Grands assemblages : resserrer si requis les premiers boulons serrés*

Marquage des boulons

- À faire dès que le serrage à bloc de tous les boulons d'un assemblage est complété
- À faire par l'entrepreneur sur l'arête de l'écrou la plus près de la position midi (demi-diamètre du boulon et écrou attenant)

Serrage final des boulons

- À faire après le serrage à bloc et le marquage de tous les boulons d'un assemblage terminé, et ce dans un délai de 10 jours (30 jours pour les boulons galvanisés)
- Seule méthode de serrage autorisée : **par rotation de l'écrou** (clé dynamométrique interdite)
- Commencer par la partie la plus rigide de l'assemblage vers les bords libres
- Une fois terminé
  - *Boulons desserrés après le serrage final : à remplacer par de nouveaux boulons*
  - *Tolérance de rotation admissible : 30º de plus que la rotation exigée*
  - *Revêtement des pièces assemblées altéré lors du serrage : retouches selon l'article 15.14.4.3.2 g) du CCDG*

Dernière étape de l'assemblage (joint de chantier d'une poutre principale)

- Enlever successivement les chevilles d'assemblage et mettre en place des boulons permanents (serrés à bloc, marqués et serrés au serrage final)

Déplacement de poutres assemblées (si pas assemblé à l'emplacement définitif)

- Ne peut se faire qu'après que tous les boulons de tous les joints d'une poutre sont en place et serrés au serrage final

Contrôles de la qualité et avis de l'entrepreneur

- Premier contrôle
  - *Avis doit être transmis par l'entrepreneur préalablement au contrôle*
  - *Pour les joints de chantier des poutres principales (sur % de joints indiqués au devis spécial)*
  - *Joints choisis par le surveillant*
  - *Par le surveillant et par l'ingénieur signataire de la procédure de boulonnage (contrôle conjoint)*
  - *Serrage à bloc des boulons : sur environ 10% des boulons (6 boulons minimum)*

    → Si serrage à bloc d'un boulon non conforme
    - Remplacer ce boulon si impossible de le desserrer
    - Vérifier tous les boulons du joint
    - Nouvelle procédure de boulonnage à produire au besoin
  - *Marquage des boulons : tous les boulons sont vérifiés*

- *Serrage final des boulons : tous les boulons sont vérifiés*

  → Si serrage final d'un boulon non conforme
  - Remplacer ce boulon
  - Selon procédure spéciale de l'entrepreneur si plusieurs boulons à remplacer

– Deuxième contrôle
- *Pour tous les assemblages (y compris ceux ayant fait l'objet d'un premier contrôle)*
- *Avis de l'entrepreneur à remettre au surveillant*

  → 48 heures maximum après la fin du serrage des boulons des assemblages visés par l'avis

  → Doit indiquer les dates et heures des inspections

  → Joints de chantier d'une poutre principale : avis signé par ingénieur signataire de la procédure de boulonnage

  → Autres assemblages : avis signé par ingénieur qui a suivi les travaux au chantier (sans délégation possible)

– Clé dynamométrique interdite

Modification ou réparation (en plus des exigences précédentes)

– Si assemblages pas décrits dans les plans : identiques à ceux existants

– Plans d'atelier des pièces remplacées peuvent être produits immédiatement après les travaux (rappels à l'entrepreneur)

– Enlèvement des rivets
- *Cisaille et marteau pneumatique*
- *Ne pas endommager le bord des trous ni les surfaces d'acier adjacentes*

– Remplacement de membrures existantes : se servir des pièces enlevées comme gabarit pour effectuer le perçage

– Fourrures
- *Aviser le concepteur lorsque l'épaisseur d'une fourrure excède 6 mm*

– Préparation des surfaces d'acier des assemblages boulonnés et soudés
- *À faire sur les nouvelles pièces (en usine) et sur les pièces existantes (au chantier)*
- *Acier nu (SSPC-SP 6/NACE no 3 ou SSPC-SP 15), métallisation ou apprêt catégorie B*

CHAPITRE 8

OUVRAGES EN BOIS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **8-1**

NORMES **8-1**

8.1 DOCUMENTS REQUIS **8-2**

8.2 MATÉRIAUX **8-2**

8.2.1 Bois 8-2
8.2.2 Matériaux de remplissage d'un caisson 8-5

8.3 ASSURANCE DE LA QUALITÉ **8-5**

8.3.1 Bois 8-5
8.3.2 Géotextiles 8-8
8.3.3 Matériaux de remplissage d'un caisson 8-8

8.4 MISE EN ŒUVRE **8-8**

TABLEAUX

Tableau 8.2-1 Taux de rétention minimal pour le bois 8-4
Tableau 8.4-1 Marques d'estampillage pour la qualité du bois 8-7

PHOTOGRAPHIES **8-13**

AIDE-MÉMOIRE **8-15**

INTRODUCTION

En ce qui concerne les ouvrages d'art, le bois est surtout utilisé pour la construction des ponts acier-bois, notamment pour les culées ou piles de type caisson ainsi que pour le platelage. Ces ponts méritent une certaine attention, puisqu'ils représentent environ le quart des structures du réseau routier québécois. Le bois sert également pour d'autres types de structures, soit pour une partie ou parfois pour l'ensemble de leurs éléments. Parmi ces structures, on retrouve les murs de type caisson, les platelages de certains ponts à poutres triangulées, les ponts à poutres de bois lamellé-collé et les ponts couverts. Mentionnons que les ponts à poutres de bois lamellé-collé et les ponts couverts ne sont pas traités ni au CCDG ni dans ce chapitre.

Le bois peut aussi être utilisé pour les pieux. Pour en savoir plus sur ces derniers, le surveillant doit consulter le chapitre 3 « Pieux » du présent manuel.

NORMES

Afin d'alléger le texte, la description complète des normes citées dans ce chapitre est faite ici. Ces normes sont :

- NQ 2560-114 : Travaux de génie civil – Granulats
- CSA O80 : Préservation du bois
- ASTM A307: Standard Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 PSI Tensile Strength
- ASTM F1554 : Standard Specification for Anchor Bolts, Steel, 36, 55, and 105 ksi Yield Strength
- ASTM F3125 : Standard Specification for High Strength Structural Bolts, Steel and Alloy Steel, Heat Treated, 120 ksi (830 MPa) and 150 ksi (1040 MPa) Minimum Tensile Strength, Inch and Metric Dimensions
- Norme 6101 du Ministère : Aciers de construction
- Norme 6201 du Ministère : Boulons, tiges d'ancrage, écrous et rondelles en acier
- Norme 11101 du Ministère : Bois
- Norme 13101 du Ministère : Géotextiles
- Norme 14501 du Ministère : Enrochement et revêtement en pierres

Mentionnons que les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) et par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

8.1 DOCUMENTS REQUIS

L'entrepreneur doit fournir au surveillant le plan de montage d'un caisson (mur culée ou pile d'un pont acier-bois); ce plan doit contenir les renseignements suivants :

- la longueur des pièces de bois;
- l'emplacement des pièces de bois.

Dans le cas des ponts acier-bois, l'entrepreneur doit également fournir les plans d'atelier de la charpente métallique. Cet item est détaillé dans le chapitre 7 de ce manuel.

Selon les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG, ce plan doit être signé et scellé par un ingénieur membre de l'Ordre des ingénieurs du Québec. De plus, les exigences relatives au délai minimal de sept jours avant le début des travaux que le Ministère s'accorde pour étudier le plan et au nombre minimal de copies à fournir selon le format ISO A1 doivent aussi être respectées. Notons qu'au devis type, un article peut être ajouté par le concepteur afin de préciser que les plans fournis par l'entrepreneur peuvent être produits de façon numérique en respectant la norme PDF/A. Leur format doit être ISO A1 et le titre doit mentionner le nom, la localisation, l'identification technique et le numéro de dossier apparaissant sur les plans du Ministère.

Puisque le plan de montage est essentiel pour effectuer la construction du caisson sans avoir à couper des pièces au chantier, ce qui altérerait l'efficacité du produit de préservation appliqué en usine, il faut insister auprès de l'entrepreneur pour qu'il remette ce plan.

Ce plan n'a pas à être visé ni par le surveillant ni par le concepteur. Par contre, le surveillant doit le vérifier de façon à s'assurer que les ouvrages qui y sont décrits semblent convenir aux fins spécifiées aux plans, qu'ils correspondent bien aux dimensions de l'élément à construire et au site des travaux. S'il juge que ce n'est pas le cas, il doit faire les interventions qu'il croit nécessaires auprès de l'entrepreneur.

8.2 MATÉRIAUX

8.2.1 Bois

Le bois utilisé dans les structures doit être conforme à la norme 11101 du Ministère. Cette dernière fixe les exigences en ce qui a trait aux caractéristiques physiques, aux essences permises, au traitement ainsi qu'au marquage du bois.

Les ouvrages doivent être réalisés avec du bois neuf. Une seule exception a été ajoutée au CCDG depuis quelques années; elle concerne la réutilisation de pièces de bois pour les blocs écarteurs des GTOG, mais cela ne touche pas les ouvrages d'art.

La classification du bois neuf fait appel aux règles inscrites dans le document intitulé *Règles de classification pour le bois d'œuvre canadien*, publié par la Commission nationale de classification des sciages. Les règles de classification du bois sont contractuelles par la norme 11101 du Ministère. La classification du bois se fait selon la résistance structurale des pièces en tenant compte des défauts de ce matériau. Ces règles visent à assurer des standards de qualité minimaux pour les différentes usines de sciage et elles s'appliquent généralement à toutes les essences de bois mou transformées au Canada. Dans le cas du bois traité, sa classification est effectuée à l'usine de traitement.

Les exigences générales relatives aux pièces de bois utilisées par le Ministère, soit celles ayant les dimensions 197 x 203 mm et 96 x 203 mm, sont spécifiées dans la norme 11101 du Ministère. Cette norme couvre également l'utilisation de pièces rondes lorsqu'un pont est construit avec un biais.

Le bois utilisé dans les ouvrages du Ministère doit généralement recevoir un traitement de préservation qui consiste à en imprégner les fibres de façon à les protéger chimiquement contre la pourriture. La norme CSA O80 établit les exigences pour la préservation chimique du bois, tant pour les produits de préservation utilisés que pour les modes opératoires.

Il est important de mentionner que les pièces de bois doivent être coupées à leur longueur finale avant de recevoir le traitement de préservation à l'usine. Cette exigence du CCDG est importante afin d'éliminer toute coupe inutile au chantier puisque le traitement de préservation posé après une coupe effectuée au chantier n'est pas aussi performant que celui posé à l'usine, car il ne permet pas d'atteindre les taux de rétention et de pénétration exigés par la norme CSA 080.

Le produit de préservation surtout utilisé au Ministère est l'arséniate de cuivre chromaté (ACC) (« CCA » en anglais). L'utilisation de l'ACC, bien qu'interdite pour le bois servant à des fins résidentielles, est privilégiée par les fournisseurs de bois traité parce que ce produit n'est pas réglementé pour les ouvrages industriels dont les ponts, qu'il est moins coûteux et que son rendement est reconnu de longue date. L'utilisation d'un produit de préservation considéré comme équivalent, tel le cuivre alcalin quaternaire (CAQ) (« ACQ » en anglais) est possible, mais peu probable, principalement en raison de son coût, mais également en raison des problèmes de corrosion de l'acier engendrés par la présence du cuivre.

Le traitement est vérifié à partir de la quantité de produit de préservation qui est retenu dans le bois. Le tableau 8.2-1 montre les valeurs du taux de rétention minimal en fonction de deux classes d'emploi relatives à l'utilisation du bois. La classe d'emploi est précisée dans le devis spécial. Ces valeurs proviennent de la norme CSA O80.

Tableau 8.2-1 Taux de rétention minimal pour le bois

Produit de préservation	Taux de rétention minimal (kg/m^3)		Couleur
	Classe d'emploi CE5A (Milieu marin)	Classe d'emploi CE4.1 (Eau douce ou sol)	
ACC	24,0	6,4	Vert-gris

La qualité du traitement du bois est également contrôlée par la profondeur de pénétration du produit de préservation. Comme en ce qui concerne la rétention, les exigences relatives à la pénétration sont indiquées dans la norme CSA O80. Pour être en mesure de respecter ces exigences, les opérations à l'usine prévoient une incision du bois avant le traitement pour permettre une meilleure propagation du produit à l'intérieur du matériau. Le bois est ensuite imprégné, sous pression, du produit de préservation à l'intérieur d'un autoclave.

Le bois requis pour les traverses du platelage d'un pont doit être exclusivement de qualité n^o 1. Cette exigence du CCDG s'impose en raison de la forte sollicitation exercée sur les traverses par les véhicules passant sur le pont, mais également afin de limiter le nombre de flaches sur la surface de roulement. Une flache est un manque dans le coin d'une pièce de bois.

Le bois requis pour les caissons à claire-voie d'un pont ou d'un mur doit être de qualité n^o 1 avec un maximum de 50 % de qualité n^o 2. Cette tolérance du CCDG quant au bois de qualité n^o 2 permet d'obtenir de meilleurs prix sans nuire à l'aspect structural du caisson à cause de la grande redondance des pièces constituant ce dernier. Pour ce qui est du bois requis pour le plancher, les chasse-roues et les poteaux de glissière, il doit être de qualité n^o 1 avec un maximum de 35 % de qualité n^o 2.

8.2.1.1 Quincaillerie pour le bois

La quincaillerie comprend les attaches pour assembler les pièces de bois comme les boulons, les tiges filetées, les tire-fonds, les fiches, les clous, les plaques d'attache, les anneaux fendus ainsi que les rondelles et les écrous accompagnant la boulonnerie. Mentionnons que des plaquettes carrées peuvent être utilisées en remplacement des rondelles. La galvanisation est exigée pour la quincaillerie afin de limiter la corrosion de surfaces d'acier et ainsi réduire le développement d'environnements humides qui sont propices à l'avènement de la pourriture du bois. L'attache utilisée pour fixer les lisses métalliques aux poteaux de glissière est également galvanisée; cette exigence des plans est nécessaire pour permettre une compatibilité adéquate entre les matériaux.

Le grade A de la norme ASTM A307 et le grade 36 de la norme ASTM F1554 spécifiés respectivement pour les boulons et les tiges filetées sont prévus pour des applications générales, comme celles effectuées sur les ouvrages en bois.

Les boulons de la charpente métallique doivent respecter la norme ASTM F3125. Sauf indication contraire dans les plans et devis, ces derniers doivent être de grade A325 et de type 1 galvanisés.

Aucune norme n'est spécifiée pour les plaques d'attache, puisque les exigences relatives à l'acier utilisé (tôle en acier commercial) sont minimales.

8.2.2 Matériaux de remplissage d'un caisson

Les matériaux de remplissage à utiliser sont indiqués à l'article 15.8.4 du CCDG et sur les plans de l'ouvrage; notamment celles à utiliser pour le remplissage des caissons (calibre 300-400 mm). Ces pierres sont décrites dans la section 15.2 « Fondations » du CCDG et sur les plans du caisson.

8.3 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*.

L'assurance qu'un lot de bois est traité en conformité avec les exigences de la norme CSA O80 se fait à différents niveaux : directement à l'usine où est effectué le traitement du bois, lors de la livraison du bois au chantier, et dans certains cas dans un laboratoire ayant une expertise dans le domaine.

Pour tout renseignement technique concernant le bois traité, le surveillant doit communiquer avec le Service des matériaux d'infrastructures de la Direction du contrôle des matériaux (DCQM) du Ministère (via le chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services).

8.3.1 Bois

8.3.1.1 Système qualité conforme à la norme ISO 9001

Étant donné que le système qualité ISO est basé sur un contrôle des processus de production et, par la suite, sur la confiance des clients envers ces mécanismes de contrôle, la vérification par le surveillant du bois traité peut varier selon différents facteurs tels que la fiabilité de l'usine de traitement et l'état des pièces de bois.

Le surveillant doit demander à l'entrepreneur, dès la première livraison de bois, une copie du certificat d'enregistrement ISO de son fournisseur de bois afin de vérifier que le traitement du bois a été effectué par une entreprise ayant une certification en bonne et due forme.

8.3.1.2 Attestation de conformité

Pour chaque lot de bois traité livré au chantier, une attestation de conformité doit être fournie par l'entrepreneur pour s'assurer que les exigences du Ministère sont respectées. Ce document, requis dans le CCDG, donne l'information relative au traitement et des renseignements complémentaires concernant la qualité du bois.

Le surveillant doit veiller à ce que l'attestation de conformité soit rédigée adéquatement; il doit aussi s'assurer que le numéro de lot indiqué sur l'étiquette du fournisseur (apposée sur les paquets de bois) correspond à celui inscrit sur l'attestation.

Le CCDG donne une liste des items minimaux devant apparaître sur l'attestation de conformité, notamment des informations relativement à l'essence du bois, au fabricant, au traitement, etc.

Un lot de production correspond à une certaine quantité de pièces de bois homogènes (dimensions similaires, même essence) ayant été traitées dans les mêmes conditions et en même temps. Selon les circonstances de distribution, il est possible qu'un lot de bois traité soit divisé et se retrouve sur différents chantiers. Le surveillant doit donc prendre soin de vérifier la présence possible de plus d'un lot de production sur son chantier.

Le surveillant doit aussi s'assurer que les essences de bois fournies, que le traitement de préservation, notamment le produit utilisé et les résultats de rétention et de pénétration, sont conformes aux exigences de la norme 11101 du Ministère et de la norme CSA O80.

8.3.1.3 Contrôle de réception

Afin d'établir un climat de confiance entre le Ministère et les fournisseurs de bois traité, la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère effectue de façon sporadique une vérification de la qualité du traitement directement à l'usine.

En cas de doute quant à la qualité du traitement ou dans le cas d'un projet majeur, le surveillant se doit d'effectuer des contrôles plus précis; ces derniers doivent être faits par la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère ou par un laboratoire spécialisé privé. Un contrôle de réception, comprenant un échantillonnage du bois traité livré sur le chantier, est alors réalisé afin de déterminer les principales caractéristiques du traitement.

Le surveillant ou le représentant du laboratoire procède au prélèvement d'échantillons selon les modalités prévues dans la norme CSA O80. Dans le cas où le surveillant doit procéder lui-même à l'échantillonnage, une assistance technique peut être fournie par la Direction du contrôle qualité des matériaux (DCQM) du Ministère (via le chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) pour le prélèvement des carottes.

Il est donc important de vérifier la qualité du traitement le plus tôt possible après la livraison du bois sur le chantier pour pouvoir réaliser, s'il y a lieu, les essais en laboratoire avant l'utilisation des pièces de bois. Un délai d'environ une semaine doit être prévu pour faire les essais de rétention et de pénétration.

Mentionnons que pour qu'un lot de bois traité soit accepté conformément à la norme CSA O80, 80 % des échantillons doivent satisfaire aux critères de pénétration et 100 % des échantillons doivent respecter les exigences de rétention.

Afin de s'assurer du respect des exigences du CCDG quant au pourcentage de bois ayant une qualité n^{o} 2, le surveillant doit, notamment, vérifier la qualité du bois pour chaque livraison, en relevant le pourcentage de pièces de qualité n^{o} 1 et de qualité n^{o} 2 figurant sur l'étiquette du fournisseur, laquelle est apposée sur chacun des paquets de bois; en cas de doute, il doit procéder lui-même au relevé de la qualité de chaque pièce de bois. Pour ce faire, une estampe de classification indique la qualité du bois, et il est important de noter que la marque d'estampillage varie selon le fournisseur du bois. Le tableau 8.4-1, présenté ci-après, montre les marques d'estampillage pour les principaux fournisseurs. Ces marques doivent se retrouver sur chacune des pièces de bois, généralement à l'un des bouts.

Tableau 8.4-1 Marques d'estampillage pour la qualité du bois

Fournisseur	**Qualité n^{o} 1**	**Qualité n^{o} 2**
Goodfellow	1 CIFQ 810	2 CIFQ 810
Marwood		
Stella-Jones		

Si une pièce de bois ne possède pas d'estampe à l'une de ses extrémités, le surveillant doit rejeter cette pièce puisqu'il n'est plus en mesure d'en déterminer le grade.

Le chapitre 7 de ce manuel détaille les exigences concernant la quincaillerie. Le CCDG donne une liste des informations devant apparaître sur l'attestation de conformité des boulons, écrous et rondelles.

Dans le cas des ponts acier-bois, aucun contrôle de réception à l'aide d'un tensiomètre n'est exigé, comme le précise le chapitre 7 de ce manuel. Le surveillant doit tout de même vérifier la conformité des lots de boulons aux attestations de conformité ainsi que les fiches techniques des divers éléments de quincaillerie.

8.3.2 Géotextiles

L'assurance qualité des géotextiles est faite selon les indications apparaissant à l'article 12.6 « Géotextiles » du CCDG.

8.3.3 Matériaux de remplissage d'un caisson

Mentionnons tout d'abord que le remplissage des excavations est traité au chapitre 2 « Fondations » de ce manuel.

Le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur lui remet l'attestation de conformité des pierres avant les travaux. Il faut qu'il insiste pour obtenir cette attestation, car il est très important d'avoir des pierres qui ne s'effriteront pas avec le temps. Les informations relatives à cette attestation de conformité apparaissent au chapitre 2 « Fondations » de ce manuel.

8.4 MISE EN ŒUVRE

Les pièces de bois doivent être inspectées par le surveillant à leur arrivée sur le chantier; cette inspection porte notamment sur la conformité de ces pièces de bois aux exigences du plan de montage. Mentionnons que les tolérances dimensionnelles des pièces de bois indiquées dans la norme 11101 du Ministère ne devraient pas être une préoccupation pour le surveillant, compte tenu de la rigueur du processus de fabrication; cependant, en cas de doute, le surveillant doit veiller à ce que les tolérances soient respectées.

Excavations et remplissage des excavations

Mis à part la démolition d'ouvrages existants nécessaires pour la reconstruction, les excavations constituent la première étape de réalisation des travaux et sont décrites au chapitre 2 « Fondations » de ce manuel.

La conception d'un caisson d'une culée ou d'une pile d'un pont acier-bois, qui repose directement sur le sol, est effectuée en se basant sur un avis technique relatif à la nature du sol en place. Une étude géotechnique est fréquemment réalisée, surtout lorsqu'il s'agit d'un cas particulier où le sol a une très faible capacité portante.

L'exigence du CCDG visant à éviter le remaniement du fond des excavations est particulièrement importante pour un caisson d'une culée ou d'une pile d'un pont acier-bois, puisqu'elle est liée directement à la stabilité de l'ouvrage et à son comportement à long terme.

Les travaux relatifs aux excavations et au remplissage des excavations doivent être réalisés selon les exigences du chapitre 2 « Fondations » de ce manuel. Si le surveillant a des doutes concernant la capacité portante du sol du fond des excavations, il doit consulter le concepteur.

Mentionnons que le surveillant doit consulter le chapitre 2 « Fondations » de ce manuel pour plus d'information concernant le remplissage des excavations.

Caisson

Un caisson est un assemblage de pièces de bois entrecroisées, fixées par des fiches, des clous, des tiges filetées et des boulons, de manière à obtenir des cellules à l'intérieur desquelles des pierres sont mises en place pour former un mur ou une unité de fondation (culée ou pile). Le rôle des pierres pour une culée ou un mur consiste à retenir les sols alors que pour une pile, ce rôle consiste à lester le caisson.

La mise en place d'un coussin de support améliore la capacité portante du sol et facilite souvent l'ajustement des premières pièces, particulièrement si l'entrepreneur a choisi de préassembler la partie inférieure du caisson avant de le déposer sur le fond de l'excavation au moyen d'un équipement de levage. Il faut se référer au chapitre 2 « Fondations » du présent manuel pour plus d'information à ce sujet.

Le surveillant doit s'assurer que les pièces de bois des premières rangées d'un caisson à angle droit sont perpendiculaires entre elles et au bon niveau, puisque celles-ci conditionnent la géométrie du reste de l'ouvrage. Dans le cas d'un caisson à construire selon un biais, un contrôle plus serré doit être réalisé afin de respecter le biais prévu.

Le remplissage du caisson est habituellement fait au fur et à mesure de la mise en place des pièces de bois au moyen d'une excavatrice, mais un travail manuel est toujours nécessaire pour finaliser la mise en place des pierres. Il est exigé au CCDG, pour éviter des pertes par les ouvertures du caisson, que la plus petite dimension des pierres soit d'au moins 300 mm. Par contre, la plus grande dimension des pierres doit être d'au plus 400 mm pour éviter que des pierres trop grosses brisent les pièces de bois du caisson lors du remplissage. Le remplissage du caisson avec ces pierres doit être fait avec précaution, afin de ne pas endommager le caisson, jusqu'au niveau indiqué dans les plans. De plus, les pierres doivent être placées de façon à ce que les vides entre elles soient réduits au minimum.

Caisson d'un pont

Dans le cas d'un caisson d'un pont, il faut aussi tenir compte des notions qui suivent.

Tel qu'indiqué aux plans, un géotextile doit être mis en place sous le coussin de support afin d'éviter un poinçonnement d'un sol à faible capacité portante, tel un silt ou une argile molle, mais aussi afin de limiter l'interpénétration du coussin de support et du sol en place.

L'élévation du dessous du caisson doit être à une certaine profondeur par rapport au lit du cours d'eau ou le terrain environnant à proximité du caisson; cette profondeur, qui a été déterminée à partir d'un avis ou d'une étude hydraulique, est spécifiée aux plans et devis. Cette exigence vise à protéger l'unité de fondation contre l'affouillement et à assurer ainsi sa stabilité à long terme.

Le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur vérifie l'horizontalité du caisson pendant toute la durée du montage. Mentionnons que l'ajustement de l'horizontalité est possible par l'utilisation appropriée des pièces de bois selon leur face blanchie ou leur face brute. Comme le planage n'est exigé que sur l'une des faces et que ce dernier diminue l'épaisseur d'environ 6 mm, il en résulte que les pièces de bois font 197 x 203 mm. Il est donc possible, en tournant certaines pièces de bois sur un même rang, de corriger une erreur de niveau, de nivellement ou même de verticalité par incréments de 6 mm à chaque rang.

Au moment de commencer la construction d'une deuxième ou d'une troisième unité de fondation, il est essentiel de contrôler soigneusement la distance entre le caisson en construction et ceux déjà construits. Cette vérification doit être répétée à plusieurs reprises pour s'assurer que le caisson ne bouge pas pendant le remplissage.

Les pierres de calibre 100-200 sont utilisées pour la partie supérieure du caisson afin d'avoir une surface plus uniforme. Un géotextile doit être placé sur ce remplissage de transition pour éviter que la couche supérieure constituée de matériau granulaire MG 20 s'infiltre à travers le remplissage de transition. Ce géotextile devrait être mis en place de manière à épouser les contours intérieurs, y compris les parois verticales, de chaque cellule du caisson afin d'éviter la perte de matériaux entre les cellules.

Les pierres provenant des ouvrages démolis peuvent être réutilisées en autant qu'une attestation de conformité démontre leur conformité aux exigences.

Un géotextile doit également être mis en place sur la totalité de la face arrière du caisson, et sur une partie de ses côtés, afin de limiter la perte de matériau granulaire de l'approche et du remblai à travers les ouvertures du caisson. Le géotextile doit être installé lâchement pour éviter qu'il se déchire de façon prématurée lors du remplissage des excavations.

Platelage et surface de roulement

Un platelage est constitué de traverses déposées transversalement sur les poutres ou les longerons, et de madriers de plancher placés dans le sens du trafic; ces derniers constituent également la surface de roulement. Les traverses servent à transférer les charges des véhicules au système structural alors que la surface de roulement assure une surface de roulement confortable.

Dans le cas des ponts susceptibles d'être empruntés par des cyclistes, il est parfois exigé aux plans et devis que les madriers soient installés à 45^{o} par rapport à l'axe du pont. Ceci rend leur mise en place beaucoup plus complexe. Entre autres, l'extrémité de tous les madriers doit être appuyée sur une traverse. De plus, les madriers près des chasse-roues doivent être coupés à 45° en chantier. La coupe en chantier est normalement interdite, mais, dans ce cas-ci, elle est inévitable et les extrémités coupées doivent être enduites de protecteur approuvé CSA O80.

Lorsqu'un chevauchement des traverses est demandé dans les plans et devis, la longueur de celles-ci permet un chevauchement suffisant de façon à ce que leurs extrémités s'appuient au moins sur toute la largeur de la poutre ou du longeron. Dans le cas d'un pont avec biais, ces extrémités doivent dépasser d'au moins 50 mm le bord de la semelle de la poutre; cette exigence des plans s'impose afin d'assurer une bonne répartition des charges.

Dans le but d'avoir une surface de contact la plus uniforme possible entre les poutres et les traverses, il est suggéré de mettre les faces blanchies des pièces de bois en-dessous (en contact avec le dessus des poutres).

Un espacement nul est demandé aux plans entre les madriers du plancher. Cette exigence de coller les madriers l'un contre l'autre doit être bien respectée lors de la construction afin d'éviter d'avoir des ouvertures longitudinales trop grandes, à la suite du retrait à long terme du bois, qui pourraient constituer une source de danger pour les cyclistes.

Le surveillant doit s'assurer qu'aucune flache (un manque dans le coin d'une pièce de bois) n'est présente sur la surface supérieure du plancher pour diminuer les risques d'accident pour les cyclistes. Dans un tel cas, la solution la plus simple est de tourner le madrier afin que la flache soit en-dessous.

Les plaques d'attache retenant les traverses au système structural doivent être solidement appuyées contre les semelles supérieures des poutres avant d'être fixées aux traverses. Les plaques ne sont pas utilisées vis-à-vis du chevauchement des traverses puisqu'il n'est pas possible d'en faire l'installation, faute d'espace suffisant.

La pose des anneaux fendus aux différentes jonctions des poteaux de glissière et du tablier est importante, puisque les anneaux augmentent la résistance du bois au cisaillement. L'installation des anneaux fendus constitue un travail de précision, surtout lors de la réalisation des rainures dans le bois. En effet, ces dernières doivent être faites de façon à ce que les anneaux soient insérés sans permettre de jeu, garantissant ainsi une plus grande efficacité des anneaux.

Pour un pont avec biais, les poteaux de glissières sont installés selon le biais entre deux traverses. Des blocs écarteurs biseautés doivent être ajoutés entre le chasse-roue et le poteau de glissière afin de servir de cale pour transmettre les efforts au poteau, puis à l'anneau fendu. Des blocs écarteurs biseautés doivent également être ajoutés entre le poteau de glissière et la lisse du GTOG. De plus, pour ces ponts, la disposition des traverses doit respecter le chevauchement indiqué sur les plans afin que le transfert des charges aux poutres se fasse correctement.

Les madriers de plancher doivent être disposés de façon à ce qu'ils soient en contact avec les appuis de chasse-roues; un ajustement du madrier attenant au chasse-roue peut donc s'avérer nécessaire. Des précautions doivent être prises lors de la mise en place des madriers pour limiter la variation de la largeur du madrier attenant au chasse-roue.

Rappelons qu'aux extrémités du tablier, chaque madrier de plancher est fixé à la dernière traverse pour procurer une plus grande rigidité et une meilleure protection contre les équipements d'entretien.

Quincaillerie

Les pièces de bois devant être assemblées avec des boulons ou des tiges filetées doivent être préalablement percées de part en part selon les indications du CCDG. Les pièces de bois devant être assemblées avec des tire-fonds, des fiches ou des clous d'un diamètre supérieur à 6 mm doivent être également préalablement percées selon la longueur des attaches et selon les indications du CCDG. Dans le premier cas, le perçage est fait selon un diamètre de 2 mm plus grand que les attaches alors que dans le deuxième cas, le perçage est fait selon un diamètre de 2 mm plus petit que les attaches. Ces exigences permettent d'éviter d'endommager le bois tout en assurant la fixation adéquate des pièces de bois.

Dans le cas de l'assemblage des madriers aux traverses du platelage, ces dernières doivent être préalablement percées afin de diminuer les risques de rupture des tire-fonds lors de leur serrage.

La surface intérieure des trous percés lors de la construction d'un caisson n'a pas besoin d'être saturée d'un produit de préservation, puisque la protection fournie par les pièces bien serrées les unes contre les autres est suffisante. Par contre, la surface intérieure des trous pour encastrer les têtes des tire-fonds servant à fixer les madriers du platelage doit être enduite avec un produit de préservation pour bois parce que ces trous sont directement exposés aux intempéries. Dans le cas du remplacement des madriers du platelage, les trous laissés par les attaches existantes sur les traverses à conserver doivent aussi être enduits d'un produit de préservation.

Le serrage doit assurer un bon contact entre les pièces assemblées, mais pas au point de briser le bois et de créer ainsi des conditions propices à la pourriture. Des rondelles ou des plaquettes carrées en acier doivent être placées à chaque extrémité des attaches en contact avec le bois. Des dimensions minimales sont exigées dans le CCDG pour les rondelles et les plaquettes afin de permettre une bonne répartition des efforts entre les attaches et la surface du bois.

Dans le cas d'un pont, la pose des lisses en tôle ondulée sur le pont peut nécessiter un ajustement longitudinal, puisque la localisation des poteaux de glissière ne correspond pas toujours à la position des trous déjà percés des lisses. De nouveaux trous doivent donc être percés à certains endroits dans les lisses afin de pouvoir les fixer aux poteaux de glissières. Des retouches à l'aide d'un enduit riche en zinc devraient être effectuées sur ces trous; cette exigence du devis spécial s'impose afin d'améliorer la durabilité des lisses.

PHOTOGRAPHIES

OUVRAGES EN BOIS



1. Estampe indiquant la qualité d'une pièce de bois



2. Début de construction d'un caisson



3. Culée de type caisson



4. Espaceur pour pont avec biais



5. Remplissage des excavations à l'arrière d'une culée de type caisson



6. Pont acier-bois

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 8 – OUVRAGES EN BOIS

NOTES

- Ouvrages en bois : ponts acier-bois, murs de type caisson et platelages
- Les pieux en bois sont traités au chapitre 3 du présent manuel

DOCUMENTS REQUIS

- Plan de montage des caissons
  - Longueur et emplacement des pièces
  - 7 jours avant travaux

MATÉRIAUX

Les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par le Bureau de normalisation du Québec et par l'Association canadienne de normalisation.

Bois

- Norme 11101 du Ministère
- Bois neuf seulement
- Bois traité seulement
  - Traitement de préservation : ACC (classe d'emploi CE5A « milieu marin » : 24 kg/m^3 ; classe d'emploi CE4.1 « eau douce ou sol » : 6,4 kg/m^3)
  - Pièces coupées à leur longueur finale avant traitement de préservation à l'usine
- Pourcentage de n° 1 et n° 2 (traverses du platelage : 100 % n° 1; caisson à claire-voie : n^o 1 et 50 % maximum n° 2, autres éléments : n^o 1 et 35 % maximum n° 2)

Quincaillerie

- Boulons (ASTM A307) et tiges filetées (ASTM F1554 grade 36) : selon la norme 6201 du Ministère
- Boulons ASTM F3125 pour la charpente métallique
- Rondelles : $>$ 4 X ∅ du boulon (épaisseur minimale : 4 mm)
- Galvanisation exigée pour toute quincaillerie

Géotextile

- Selon norme 13101 du Ministère (type V)

Matériaux de remplissage d'un caisson

- Pierres : norme 14501 du Ministère
- Matériaux granulaires : norme NQ 2560-114

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

Voir articles 3.1.4 et 4.11 ainsi que l'annexe 3 du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*.

Bois

- Système qualité ISO du fournisseur
  - Certification ISO à fournir
- Attestation de conformité
  - Vérifier numéro de lot (attestation de conformité vs étiquettes des paquets de bois)
  - produit de préservation (résultats de rétention et de pénétration)
  - Vérifier numéro de lot (attestation de conformation vs étiquettes des paquets de bois)
- Contrôle de réception
  - Traitement de préservation : en cas de doute sur la qualité du traitement ou pour un projet majeur, communiquez avec la Direction du contrôle qualité des matériaux (DCQM) du Ministère (via le chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services)

Autres matériaux

- Quincaillerie : Voir CCDG 15.8.3.1.2
- Géotextiles : Voir article 12.6 du CCDG
- Pierres : en cas de doute sur la qualité, selon norme 14501 du Ministère

MISE EN ŒUVRE

Vérifier la qualité du bois à l'arrivée sur le chantier

- Pourcentage n° 1 (vérifier étiquettes sur paquets; en cas de doute, vérifier les pièces au moyen des marques d'estampillage aux extrémités des pièces)
- Dimensions des pièces vs plan de montage (tolérances : voir norme 11101 du Ministère)

Excavations et remplissage des excavations

- Voir chapitre 2 du présent manuel
  - Ne pas remanier le fond des excavations
  - Ajouter coussin de support au besoin

Caisson

- S'assurer de la mise en place du coussin de support
- Vérifier l'élévation du dessous du caisson
- Vérifier la géométrie du caisson tout au long de sa construction
- Boulons, tire-fonds et tiges filetées : rondelles ou plaquettes en acier à chaque extrémité en remplissage des caissons
  - Au fur et à mesure de la construction du caisson
  - Pierres de calibre 300-400

- Caisson d'un pont
  - S'assurer de la mise en place du coussin de support (MG 56)
  - Ajustement de pièces pour rétablir l'horizontalité : à faire au-dessus du niveau des eaux hautes extrêmes
  - Remplissage de la partie supérieure des caissons
    - Pierres calibre 100-200 sur 400 mm
    - Géotextile et MG 20 sur 600 mm, par couche de 200 mm compactée à 98 % Proctor modifié
    - Pierres provenant des ouvrages démolis : peuvent être réutilisées si conformes (attestation de conformité)
  - Poser géotextile sur face arrière du caisson et sur une partie de ses côtés (ne pas tendre)
  - Vérifier la distance entre deux unités de fondation (avant la construction du caisson suivant)

Platelage et surface de roulement

- Chevauchement minimal des traverses (pont avec biais) : largeur de la semelle de la poutre + 50 mm
- Espacement entre madriers de plancher : aucun (madriers collés l'un contre l'autre)
- Plaques d'attache des traverses à poser
- Disposition des madriers de plancher de façon à minimiser l'ajustement des madriers attenants aux chasse-roues
- Madriers de plancher à fixer à la dernière traverse aux culées
- Anneaux fendus à poser (vis-à-vis des poteaux des glissières)
- Blocs espaceurs biseautés de glissières et chasse-roues pour ponts avec biais

Quincaillerie

- Trous pour quincaillerie
  - Pour boulons et tiges filetées : ∅ de l'attache + 2 mm
  - Pour tire-fonds, fiches ou clous : ∅ de l'attache - 2 mm
  - Pour tire-fonds sur platelage : prépercer les madriers de plancher et les traverses
  - Produit de préservation à poser au chantier, sauf pour les caissons
- Serrage
  - Suffisant pour un bon contact entre les pièces (ne pas trop serrer pour ne pas briser le bois)
- Lisses en tôle ondulée des glissières de ponts
  - Ajustement longitudinal à prévoir (nouveaux trous à percer, peinture riche en zinc)

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

CHAPITRE 9

ÉQUIPEMENTS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **9-1**

NORMES **9-1**

9.1 APPAREILS D'APPUI **9-2**

9.1.1 Documents requis 9-2
9.1.2 Exigences de conception 9-5
9.1.3 Matériaux 9-5
9.1.4 Assurance de la qualité 9-5
9.1.5 Fabrication 9-5
9.1.6 Mise en œuvre 9-6

9.2 JOINTS DE TABLIER **9-18**

9.2.1 Documents requis 9-21
9.2.2 Matériaux 9-22
9.2.3 Mise en œuvre 9-23

9.3 DISPOSITIFS DE RETENUE EN ACIER **9-36**

9.3.1 Documents requis et exigences de conception 9-37
9.3.2 Matériaux 9-38
9.3.3 Fabrication 9-38
9.3.4 Mise en œuvre 9-38

9.4 DRAINS EN ACIER **9-44**

FIGURES

Figure 9.1-1 Étapes de mise en place d'un appareil d'appui en élastomère fretté sous une poutre en acier – exemple 9-15
Figure 9.1-2 Étapes de mise en place d'un appareil d'appui à élastomère confiné - exemple 9-16
Figure 9.2-1 Joint de tablier à une garniture (vue partielle) 9-20
Figure 9.2-2 Tableau « Ouverture–Température » d'un joint de tablier – exemple 9-26
Figure 9.3-1 Positionnement des éléments d'une glissière en acier 9-43

PHOTOGRAPHIES **9-49**

AIDE-MÉMOIRE **9-51**

INTRODUCTION

On désigne par « équipements » l'ensemble des éléments de nature, de conception et de fonctionnement très divers, ayant pour objet de rendre les tabliers fonctionnels tant sur le plan structural qu'en ce qui a trait à la sécurité et au confort des usagers.

Ces éléments sont les appareils d'appui, les joints de tablier, les dispositifs de retenue en acier et ceux associés au drainage. Ces équipements, qui sont fabriqués en usine, sont soumis à l'action directe du trafic et de l'environnement. Ils sont donc sujets à une usure plus rapide que l'ensemble des autres éléments d'un pont et ils doivent donc être remplaçables. La conception de ces éléments tient compte notamment du fait qu'ils doivent être réparés ou remplacés le plus facilement possible.

Le rôle du surveillant concernant les travaux de fabrication des équipements se résume à informer la Direction du contrôle de la qualité des matériaux (DCQM) du Ministère (via le chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) pour que ce dernier assure une présence en usine sous forme d'audits. Puisque cette présence n'est pas systématique, le surveillant ne reçoit pas toujours un rapport. Il se doit cependant d'informer la DCQM du Ministère de toute anomalie qu'il pourrait déceler sur ces produits afin que celle-ci resserre au besoin son contrôle.

Le rôle du surveillant relativement aux travaux réalisés au chantier est par contre beaucoup plus important et l'essentiel du présent chapitre y est consacré.

Le principal défi de l'entrepreneur concernant la réalisation de travaux de mise en œuvre adéquats des équipements consiste souvent à composer avec des éléments qu'il ne connaît pas très bien, d'où une certaine précipitation qui accompagne fréquemment ces travaux. Le surveillant se doit en conséquence d'être vigilant, car il aurait tort de sous-estimer l'importance économique des équipements de pont. En effet, le prix des équipements peut représenter de 5 à 10 % du coût total de construction d'une structure.

NORMES

Afin d'alléger le texte, la description complète des normes citées dans ce chapitre est faite ici. Ces normes sont :

- CAN/CSA-S6 : Code canadien sur le calcul des ponts routiers
- Norme 3901 du Ministère : Coulis cimentaires

Mentionnons que les employés du Ministère ont accès en ligne à la norme (mentionnée ci-haut) émise par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

9.1 APPAREILS D'APPUI

Les appareils d'appui sont des éléments dont le rôle est de transmettre aux unités de fondation les efforts provenant du tablier et de contrôler les mouvements de translation et de rotation de ce dernier. Ils peuvent être fixes ou mobiles.

Les appareils d'appui fixes sont destinés à transmettre des efforts horizontaux, longitudinaux et transversaux, ainsi que les charges verticales; ils permettent aussi la rotation du tablier. Le tablier doit être fixé à au moins une des unités de fondation du pont.

Les appareils d'appui mobiles rendent possibles les mouvements de translation et de rotation en plus de transmettre les charges verticales. Ils peuvent être équipés de guides qui ne permettent le mouvement que dans une seule direction en plus de transmettre les efforts transversaux.

Trois types d'appareils d'appui sont habituellement utilisés : les appareils en élastomère fretté, qui sont le plus répandus, les appareils en élastomère fretté avec éléments glissants et les appareils à élastomère confiné avec ou sans éléments glissants. Ces appareils d'appui et leurs caractéristiques sont décrits à la partie 11.2 « Appareils d'appui » du *Manuel de conception des structures*. Les types d'appareils d'appui à employer sont inscrits dans les plans de soumission alors que leurs caractéristiques générales sont indiquées en annexe au devis spécial. Il arrive souvent que plus d'un type d'appareils soit requis sur une même structure selon sa géométrie et son ampleur. Mentionnons que les appareils d'appui à élastomère confiné sont utilisés lorsque les charges à supporter sont importantes; les appareils avec éléments glissants sont, quant à eux, employés lorsque le mouvement maximal du tablier excède 45 mm.

Aussitôt que possible, un relevé de planéité du dessus des blocs d'assise ainsi que du dessous de la semelle des poutres doit être effectué, autant pour un élément neuf qu'un élément existant, afin de prévoir les correctifs à apporter. Il arrive parfois, par exemple, que certains voilements ou déformations de la semelle inférieure se produisent lors de la fabrication des poutres d'acier, le plus souvent en raison du soudage de l'âme ou des raidisseurs. Certaines tolérances sont définies dans la norme CAN/CSA-S6, à l'article 10.24.7.3. En cas de non-conformité, une méthode de correction doit être demandée.

9.1.1 Documents requis

Les documents suivants doivent être remis au surveillant par l'entrepreneur :

- les plans d'atelier des appareils d'appui. Ces plans doivent indiquer les caractéristiques des appareils, leurs dimensions ainsi que leurs capacités de mouvement et de charge aux ÉLUT (États limites d'utilisation) aux ÉLUL (États limites ultimes), de même que le type de matériau de ses différents composants comme indiqué dans les plans de soumission, lesquels sont plus ou moins élaborés

selon le type d'appareils d'appui. L'article 15.9.1.2 du *Cahier des charges et devis généraux* (CCDG) demande par contre que les dimensions horizontales respectent celles indiquées aux plans. Ces plans doivent être visés par le concepteur;

- si demandée au devis spécial, la note de calcul afin de vérifier les dimensions des appareils d'appui (et de tous ses composants), et ce, en conformité avec les exigences de la norme CAN/CSA-S6 et celles des normes du Ministère. La note de calcul des appareils d'appui est fournie uniquement à la demande du surveillant (consulter le concepteur);
- de plus, pour le remplacement d'appareils d'appui, le plan décrivant les méthodes de levage et de support du tablier. Les méthodes proposées ne doivent pas endommager les parties du pont existant à conserver ni altérer la résistance structurale des éléments du pont.

Dans le cas du remplacement d'appareils d'appui, il est important de mentionner que l'épaisseur de ces appareils ne doit pas être changée puisque, dans le cas contraire, cela modifierait le profil longitudinal de la structure et, le cas échéant, celui du dessus du joint de tablier à conserver. Une attention particulière doit être apportée en présence de joint dalle sur culée, notamment sur l'écrasement anticipé du nouvel appareil d'appui sous les charges permanentes.

Plan décrivant les méthodes de levage et de support du tablier

Avant de préparer le plan décrivant les méthodes de levage et de support du tablier, l'entrepreneur doit considérer dans quelles conditions le levage sera effectué, avec ou sans circulation (comme mentionné au devis spécial), avec ou sans la dalle (lors du remplacement d'une dalle), etc., afin de planifier les travaux de levage en conséquence. La valeur maximale de 15 mm pour le soulèvement du tablier indiquée dans le CCDG est liée au confort de roulement des usagers de la route. Si la circulation est interrompue sur la structure durant les travaux, cette valeur peut être modifiée, sans toutefois dépasser une valeur qui pourrait endommager le joint de tablier. Dans le cas d'un tablier à poutres continues, un avis du concepteur peut également être demandé si le soulèvement est important. Lorsqu'il y a des conduits de services publics, il faut vérifier que le levage peut se faire sans les endommager. Dans tous les cas, le tablier doit toujours être soulevé uniformément sur toute la largeur du tablier, vis-à-vis de chaque appareil d'appui, afin de ne pas endommager les diaphragmes ou les contreventements de la structure. Si le levage est effectué lorsqu'une partie de la dalle est démolie, il doit être effectué simultanément sur toute la largeur du tablier au moyen de vérins raccordés à deux pompes, une pour chaque phase des travaux; cette précaution s'impose afin de ne pas endommager les contreventements ou les diaphragmes situés entre les deux phases des travaux.

En présence d'un joint dalle-sur-culée, il est requis de procéder à une excavation du remblai près de l'extrémité du bout de la dalle afin d'éviter que du matériel ne s'insère entre les dessus du garde-grève et le dessous de la dalle. Ceci pourrait engendrer des

efforts considérables lors de la descente du tablier à la fin des travaux. Si la circulation doit être rétablie pendant les travaux, une plaque d'acier doit être ajoutée verticalement au bout de la dalle jusqu'à la dalle de transition.

La réaction maximale sur un appareil d'appui est spécifiée dans les plans afin d'aider l'entrepreneur dans la conception de son système de levage.

Étant donné que, pour certaines structures, les poutres de levage ou les diaphragmes n'ont pas été prévus pour supporter la circulation, ni même parfois la dalle de béton, le concepteur indique dans les plans et devis si les poutres de levage ou les diaphragmes peuvent servir de points de levage. Si aucune indication en ce sens n'est mentionnée dans le devis spécial, le surveillant doit s'en référer au concepteur. Il est aussi important de vérifier l'état des poutres de levage ou des diaphragmes; des réparations peuvent être requises sur ces éléments avant l'opération de levage s'il y a présence de rouille importante, de perforation ou de détérioration du béton. De même, dans le cas du remplacement d'un joint de tablier, le béton au-dessus des diaphragmes ne doit pas être démoli avant l'opération de levage.

Il faut aussi s'assurer que rien n'empêche le soulèvement du tablier comme, pour un joint à plus d'une garniture, les barres de support des modules encastrées dans le mur garde-grève qui empêche tout mouvement vertical du tablier. Un tablier dont les poutres sont appuyées contre le garde-grève sera aussi difficile à lever.

Lorsque le tablier est soulevé, la mise en place d'un support temporaire est exigée afin que le tablier ne porte plus sur les vérins, car ces équipements sont toujours sujets à une défaillance ou à lentement perdre leur pression.

Approbation des documents

Les plans d'atelier et le plan décrivant les méthodes de levage et de support du tablier doivent être signés et scellés par un ingénieur. Cette exigence du CCDG est particulièrement importante pour le levage du tablier, puisque la circulation routière est souvent maintenue lors des travaux. Le surveillant doit de plus s'assurer que la note de calcul est signée par un ingénieur. La méthode de levage ne doit être visée ni par le concepteur, ni par le surveillant. Ces derniers doivent tout de même prendre le temps de comprendre la méthode proposée par l'entrepreneur et ne pas hésiter à questionner.

L'entrepreneur doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG pour la remise de ces documents, y compris le délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour étudier les plans.

Le surveillant doit viser les plans d'atelier, sauf ceux relatifs aux appareils d'appui à élastomère confiné, lesquels doivent être transmis au concepteur pour qu'il y appose son visa. Cette dernière précaution s'impose, compte tenu de la complexité de la conception de ces appareils qui peuvent être, en plus, remplaçables ou non, ou encore à élastomère confiné inversé (les appareils d'appui à pot inversé ne sont demandés que pour les appareils guidés).

Le surveillant doit viser les plans d'atelier des élastomères frettés, mais il peut tout de même demander au concepteur de viser les plans qu'il devrait normalement lui-même viser s'il ne se sent pas à l'aise de le faire. Dans ce cas, le concepteur retourne au surveillant les plans qu'il a visés. De même, le surveillant transmet pour information une copie des plans qu'il a visés au concepteur. Dans le cas des autres types d'appareils d'appui, les plans d'atelier doivent être visés par le concepteur. La fabrication des appareils d'appui ne peut pas débuter avant que ces plans n'aient été retournés à l'entrepreneur (CCDG, article 6.6).

Le visa est un acte par lequel le concepteur ou le surveillant reconnait que les plans sont conformes dans ses grandes lignes aux documents contractuels; l'entrepreneur conserve cependant l'entière responsabilité de la conception, de l'exactitude des détails, des dimensions et des quantités. Le surveillant, s'il vise lui-même les plans d'atelier, doit tout de même s'assurer de l'exactitude de certaines données de base comme la conformité des matériaux utilisés, les dimensions et la capacité de charge et de mouvement demandées dans les plans et devis.

La figure 7.1-1 du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » du présent manuel montre l'estampe type utilisée à titre de visa.

9.1.2 Exigences de conception

Les exigences de conception des appareils d'appui sont mentionnées au CCDG et au devis spécial. Ces exigences sont d'intérêt surtout pour le fabricant qui a la charge de concevoir les appareils d'appui; elles intéressent aussi le concepteur de la structure à construire et dans une moindre mesure, le surveillant.

9.1.3 Matériaux

La conformité des matériaux, y compris celle du composé en élastomère, est généralement vérifiée en usine par le personnel de la DCQM du Ministère, ou par l'un de ses prestataires de services, lorsque le contrat fait l'objet d'un suivi en usine.

Le coulis cimentaire employé sous les appareils d'appui à élastomère confiné doit respecter les exigences de la norme 3901 du Ministère. Les coulis qui satisfont aux exigences de la norme apparaissent à la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par la DCQM », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

9.1.4 Assurance de la qualité

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*.

9.1.5 Fabrication

La fabrication des appareils d'appui est vérifiée en usine par le personnel de la DCQM, ou par l'un de ses prestataires de services, lorsque le contrat fait l'objet d'un suivi en usine. Si ce n'est pas le cas, le surveillant n'a pas à faire ce suivi, puisque les fabricants

sont des entreprises spécialisées dans le domaine et que, par conséquent, la fabrication est généralement conforme aux plans d'atelier.

Les fournisseurs d'appareils d'appui reconnus par le Ministère sont Goodco-Z-Tech et LCL Ponts.

9.1.6 Mise en œuvre

Réception des appareils d'appui

Dès la réception des appareils d'appui au chantier, le surveillant doit veiller à ce qu'ils soient entreposés dans un endroit en retrait, de façon à ce qu'ils ne soient pas endommagés lors des opérations de chantier. Il doit aussi s'assurer qu'ils sont déposés sur des supports et à l'abri des intempéries pour éviter qu'ils se salissent ou s'endommagent. Le surveillant ne doit pas hésiter à intervenir auprès de l'entrepreneur si les conditions de déchargement et d'entreposage ne sont pas satisfaisantes.

Le surveillant doit aussi s'assurer, dès la livraison des appareils d'appui, que ceux-ci sont conformes aux plans d'atelier visés. Toute anomalie doit être immédiatement signalée à l'entrepreneur afin que les corrections soient apportées rapidement de façon à ne pas retarder indûment les travaux. Le surveillant doit informer le concepteur de la nature de ces corrections.

Mentionnons que les appareils d'appui à élastomère confiné doivent être livrés tout montés et qu'il est interdit de les démonter au chantier afin d'éviter de les endommager. En cas de démontage de ces appareils effectué à l'insu du surveillant, ce dernier se doit d'exiger leur retour à l'usine pour inspection et remontage ou, à tout le moins, la présence d'un représentant du fournisseur pour superviser le remontage au chantier.

Mentionnons également que le surveillant ne doit pas se fier entièrement au suivi effectué en usine par la DCQM du Ministère, puisque celui-ci porte principalement sur les méthodes de travail du fournisseur. En cas de doute, le surveillant doit consulter la DCQM du Ministère (via le chargé d'activité de Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services), notamment en ce qui a trait aux soudures et à la protection anticorrosion.

Pour tous les types de poutres, en acier ou en béton, le surveillant doit vérifier dès que possible la planéité de la zone du dessous des poutres entrant en contact avec les appareils d'appui. Dans le cas des poutres en acier, la soudure âme-semelle a tendance à faire courber le dessous des poutres. Or, une courbure trop prononcée peut rendre très difficile le soudage des appareils d'appui. Il en va de même pour le dessous des poutres en béton qui peut être incliné en raison d'un mauvais coffrage. Des corrections difficiles peuvent engendrer des retards importants.

Tiges d'ancrage

Dans le cas de poutres en acier, des tiges d'ancrage sont généralement prévues pour retenir les poutres transversalement (et longitudinalement lorsque l'appareil d'appui est fixe).

Les tiges d'ancrage doivent être localisées avec soin, car tout écart, si petit soit-il, va empêcher soit la mise en place des poutres, soit le libre mouvement du tablier. Inutile de rappeler que ces deux situations constituent des problèmes très difficiles à résoudre une fois le béton autour des tiges durci. Le surveillant se doit de consulter le concepteur si jamais une de ces situations se présentait. La méthode de correction facile consistant à frapper une tige fautive avec une masse est à proscrire tout comme celle d'agrandir les trous de la plaque à enfiler sur les tiges. Cette dernière solution est possible, mais il faut que le concepteur évalue d'abord si cela peut se faire avec les plaques prévues à l'origine.

Les tolérances pour la pose des tiges d'ancrage sont indirectement déterminées par celles établies pour les appareils d'appui à la section 15.9.1.6. du CCDG. Cette section exige que les appuis soient posés à un maximum de 3 mm de leur position théorique des plans. Comme les ancrages doivent fixer les appareils d'appui en s'insérant dans des trous sur les plaques d'appui, il faut que les ancrages respectent la même tolérance que les appuis. C'est donc dire que la précision dans la mise en place des ancrages est de la plus haute importance, et ce, d'autant plus que les travaux correctifs peuvent engendrer des retards très importants.

Pour s'assurer que les tiges d'ancrage soient bien localisées, il est exigé au CCDG d'utiliser un gabarit temporaire en acier, d'épaisseur suffisante, de façon à retenir les tiges bien en place jusqu'au durcissement du béton (voir la figure 9.1-2). Le surveillant se doit, immédiatement avant le bétonnage, de vérifier une dernière fois la mise en place des tiges, notamment leurs localisations entre elles, puis par rapport à l'unité de fondation qui les supporte et finalement par rapport à l'unité de fondation voisine qui recevra la même poutre.

Le surveillant doit aussi vérifier l'horizontalité du gabarit ainsi que la verticalité et la longueur hors béton prévue des tiges. Les tiges doivent donc être bien fixées à leurs bases pour préserver leur verticalité lors du bétonnage. Rappelons que la longueur hors béton des tiges doit être suffisante pour que les tiges excèdent l'écrou de 3 mm une fois la poutre en place sur l'appareil d'appui. Le gabarit est fixé aux tiges au moyen de deux écrous, un premier sous le gabarit et un deuxième bien serré au-dessus du gabarit.

Afin de protéger les filets des tiges d'ancrage contre les éclaboussures de béton pendant le bétonnage, les extrémités supérieures de ces dernières doivent être munies de ruban adhésif.

Blocs d'assise

Les blocs d'assise sont les surfaces de béton sur lesquelles reposent les appareils d'appui. Leur rôle consiste principalement à maintenir les appareils hors d'atteinte de l'eau qui pourrait se retrouver sur l'assise des unités de fondation et à assurer une répartition uniforme et stable des charges verticales au moyen de surfaces d'appui planes et horizontales.

Le CCDG précise à la section 15.4.3.5.8 que la surface des blocs d'assise doit respecter une tolérance de planéité de 0,35 % par rapport à l'horizontale. Sur un bloc d'assise de 500 mm de côté, cela représente donc une tolérance d'un peu moins de 2 mm.

En effet, quel que soit le type d'appareil utilisé, il est primordial que celui-ci soit posé à l'horizontale, peu importe que les poutres ou le tablier aient ou non une pente longitudinale. Habituellement, lorsque le pont est en pente longitudinalement, celle-ci est reprise par une plaque biseautée en acier ou par une dépression en pente dans le cas des poutres en béton. Cependant, dans le cas des poutres en acier, pour des pentes longitudinales inférieures à 0,5 %, il est possible que la plaque biseautée ne soit pas requise à condition que l'appareil soit dimensionné en prévoyant la rotation induite par la pente.

L'entrepreneur doit vérifier la distance entre deux unités de fondation adjacentes une fois celles-ci construites afin que la distance entre les appareils d'appui d'une même travée soit compatible avec la longueur des poutres fabriquées en usine.

Mentionnons qu'il est très important pour une structure à travées continues en acier que les élévations de tous les appareils d'appui soient exactes, de façon à ne pas induire d'efforts supplémentaires dans le système structural.

Lorsque les exigences de l'article 15.9.1.2 du CCDG ne peuvent être respectées et que les dimensions des appareils d'appui doivent être différentes de celles spécifiées dans les plans de soumission, le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur a modifié les élévations et les dimensions des blocs d'assise correspondants afin de ne pas changer le niveau final du tablier, surtout dans le cas d'un pont existant où le joint de tablier situé sur la même unité de fondation est conservé. La position des ancrages doit également être ajustée aux nouvelles dimensions de l'appareil d'appui.

La construction des blocs d'assise des appareils d'appui est réalisée après celle de l'unité de fondation afin que l'entrepreneur prenne toutes les précautions voulues pour obtenir des surfaces planes et horizontales, et ce, à l'élévation précise prévue. Il est en effet difficile de prendre ces précautions à la fin d'un long bétonnage de culée ou de pile alors que les ouvriers sont fatigués. De plus, il est quasi impossible d'obtenir le niveau exact de chacun des blocs d'assise en raison du tassement du béton frais sur la pleine hauteur de l'unité de fondation.

Le béton habituellement utilisé pour les blocs d'assise est le type XIV-S ou XIV-R (béton autoplaçant). L'utilisation de ce béton permet d'obtenir facilement une surface du dessus des blocs d'assise parfaitement horizontale, ce qui diminue considérablement le besoin de meuler le dessus de ces derniers. En contrepartie, ce type de béton a tendance à donner une surface très lisse n'offrant pas suffisamment de friction pour permettre aux élastomères frettés de bien performer. Le devis spécial exige d'effectuer une finition de surface sur le bloc d'assise de manière à en augmenter la rugosité. L'entrepreneur devra présenter une méthode pour rendre cette surface conforme à un CSP 3 à 5 de l'International Concrete Repair Institute (ICRI).

Dans le cas d'un appareil d'appui en élastomère fretté, le surveillant doit vérifier, immédiatement après le bétonnage, que la surface est conforme. Pour ce faire, il lui faut utiliser un niveau de menuisier pour en vérifier l'horizontalité selon différents angles et un niveau d'arpentage pour en vérifier l'élévation. La surface doit aussi être rugueuse afin d'empêcher le déplacement des appareils. Puisque le béton des blocs d'assise doit avoir une résistance à la compression d'au moins 20 MPa avant la mise en place des poutres, il faut s'assurer de construire les blocs d'assise suffisamment à l'avance pour ne pas retarder les travaux. Il est parfois nécessaire de prélever des éprouvettes de béton supplémentaires à cet effet.

Dans le cas d'un appareil d'appui en élastomère confiné, bien qu'un coulis cimentaire soit utilisé entre les blocs d'assise et le dessous des plaques d'assise des appareils d'appui, il faut tout de même que l'entrepreneur s'assure que le bétonnage des blocs est effectué soigneusement, car l'épaisseur du coulis doit se situer entre 10 et 15 mm. Cette plage d'épaisseur est nécessaire puisque le coulis est considéré comme moins durable que le béton (moins il y en aura, mieux ce sera). L'épaisseur minimale de 10 mm est quant à elle requise parce qu'il n'existe pas de coulis sur le marché pouvant être mis en place sur une épaisseur moindre et, cette épaisseur minimale permet d'éviter d'avoir des vides isolés sous l'appareil d'appui impossibles à remplir (la répartition uniforme de la charge sur le bloc d'assise est ainsi compromise). Dans le cas où l'élévation de certains blocs d'assise est trop haute, l'entrepreneur doit enlever le béton excédentaire selon une méthode approuvée par le surveillant. Dans le cas où l'élévation de certains blocs est trop basse, l'entrepreneur doit démolir et reconstruire ces blocs.

<u>Vérifications à faire avant la mise en place des poutres – appareils d'appui en élastomère fretté</u>

Le surveillant doit vérifier une dernière fois avant la mise en place des poutres que tous les appareils d'appui ont été installés au bon endroit et dans la bonne direction, certains appareils en élastomère fretté ne se différenciant que par leur épaisseur. Le surveillant se doit d'être vigilant, puisque l'entrepreneur ne se fie habituellement qu'à l'information inscrite sur l'appareil, sans autre vérification. Le surveillant doit aussi veiller à ce que la plus petite dimension des appareils soit orientée selon l'axe longitudinal du pont.

Dans le cas des appareils d'appui sans élément glissant, la température ambiante lors de la mise en place des poutres doit respecter les exigences du CCDG, c'est-à-dire se situer entre - 10 °C et 20 °C afin d'éviter que les appareils soient trop déformés aux températures extrêmes. Bien qu'il faille s'en tenir à cette exigence, si la température ne se situe pas dans cette plage et qu'il est vraiment impossible d'attendre, le surveillant peut accepter que l'entrepreneur procède à la mise en place des poutres, mais ce dernier devra procéder au levage du tablier dès que la température sera adéquate. Cette façon de faire n'est pas à encourager compte tenu des risques de bris aux appareils d'appui si le levage est retardé indûment ou aux autres éléments de pont par le levage lui-même.

Dans le cas de ponts comportant de longues travées, la rotation de la poutre à la suite du bétonnage de la dalle peut occasionner des déplacements non négligeables. Cette déformation peut exiger une surépaisseur inutile de l'appareil d'appui. Le devis spécial peut exiger que le concepteur soit informé des températures du tablier lors du dépôt de ce dernier sur les appareils d'appui. L'entrepreneur, par l'entremise du surveillant, doit donc faire des relevés de température des poutres et les transmettre au concepteur. Ce dernier devra donner son avis sur la nécessité de procéder à un levage. Il est permis d'exiger, au devis spécial, un levage du tablier à la suite du bétonnage de la dalle afin d'éliminer cette déformation. Pour ce faire, des points de levage ayant la capacité suffisante doivent avoir été prévus, soit à même les diaphragmes ou sur les étaiements. Cette exigence au devis spécial permet de diminuer la hauteur des appareils d'appui.

Il faut également s'assurer, dans le cas de poutres en béton, que le cadre en acier situé autour de chaque appareil d'appui est bien ancré dans le béton de l'assise, puisqu'il est beaucoup plus complexe de le faire une fois la poutre mise en place.

Dans le cas de poutres en acier, les tiges d'ancrage doivent être centrées par rapport aux trous oblongs de la plaque supérieure d'un appareil d'appui en élastomère fretté sans éléments glissants lorsque la température, au moment de la mise en place des poutres, se situe entre – 10 °C et 20 °C. Les trous oblongs doivent avoir un minimum de 150 mm. Si la température excède cette plage de température, le surveillant doit communiquer avec le concepteur pour déterminer comment positionner la plaque supérieure relativement aux tiges d'ancrage. Cette précaution s'impose afin d'éviter que les tiges viennent buter aux extrémités des trous avant l'atteinte des températures extrêmes de conception. Le surveillant se doit d'être extrêmement vigilant, car les tolérances d'ajustement sont de l'ordre du millimètre.

Dans le cas d'un tablier à poutres d'acier, la surface d'appui entre la semelle et la plaque supérieure de l'appareil d'appui doit respecter les exigences de la norme CAN/CSA S6 (article A10.1.7.3). Globalement, les tolérances sont de 0,5 mm dans la zone correspondant à la projection des raidisseurs d'appui et de 2 mm pour le reste de la surface de contact. Ces tolérances peuvent être vérifiées en tentant d'insérer des languettes de tôles d'acier minces selon ces deux valeurs. Ceci doit évidemment être vérifié avant le soudage de la semelle à la plaque de l'âme.

Dans le cas des appareils avec éléments glissants, lesquels sont livrés en pièces détachées, il faut, en plus du positionnement de la plaque supérieure de l'appareil d'appui par rapport aux tiges d'ancrage mentionnées au paragraphe précédent, vérifier que l'élément glissant est centré sur la partie inférieure de l'appareil, et ce, quelle que soit la température de l'air ambiant lors de la mise en place des poutres. Mentionnons que l'entrepreneur doit prendre soin de ne pas endommager la feuille de PTFE et la plaque d'acier inoxydable lors de la manutention et de la mise en place des appareils. Les surfaces de PTFE et d'acier inoxydable doivent être essuyées avant le montage des appareils afin d'enlever toutes les poussières. Les appareils devraient être installés que peu de temps avant la mise en place des poutres pour réduire les risques de bris.

Vérifications à faire avant la mise en place des poutres ou le bétonnage du tablier – appareils d'appui à élastomère confiné

Le surveillant doit vérifier une dernière fois avant la mise en place des poutres que tous les appareils d'appui ont été installés au bon endroit et selon la direction indiquée par les marques qui se trouvent sur le dessus des appareils.

La partie supérieure des appareils d'appui à élastomère confiné est généralement installée centrée, sans excentricité, sans considérer la température ambiante, puisque le concepteur en a tenu compte lors de la conception. Le surveillant n'a pas à se préoccuper outre mesure de ce détail tant et aussi longtemps que les plaques d'attache temporaires reliant les parties inférieure et supérieure des appareils sont en place. Dans le cas d'un pont existant, lorsqu'un grand mouvement de translation est accompagné d'un manque d'espace disponible, ou dans le cas d'un pont neuf ayant un mouvement très important, il peut arriver que le réglage de l'appareil se fasse en fonction de la température; ce réglage se fait selon les indications de la table des réglages apparaissant dans les plans et devis. Le surveillant doit alors être extrêmement vigilant, car les risques sont grands d'excentrer les appareils du mauvais côté.

Il faut veiller à ce que les plaques d'attache temporaires servant à maintenir les parties inférieure et supérieure des appareils ne soient pas enlevées trop tôt, s'assurant ainsi que ceux-ci ne sont pas excentrés.

Mise en place d'un appareil d'appui à élastomère confiné d'un pont neuf

Puisqu'il faut s'assurer que chaque appareil est mis en place à l'élévation prévue et selon l'horizontale, la plaque d'assise de l'appareil d'appui doit être déposée sur des cales en acier d'épaisseur variable et en nombre suffisant pour assurer sa stabilité et son horizontalité parfaite. La plaque est ensuite fixée en mettant en place les écrous sur les tiges d'ancrage.

Le cordon de retenue et le coulis doivent ensuite être mis en place selon les spécifications du CCDG et du devis spécial. Bien que les méthodes de mise en place du cordon de retenue et du coulis soient bien décrites dans ces documents, des précautions doivent être prises en ce qui concerne la température minimale des

surfaces de contact (protection par temps froid si nécessaire) lors de sa pose et la température à maintenir pendant les 24 heures suivantes afin de favoriser une cure adéquate. Il faut également vérifier, au moment de la mise en place du cordon, que les points d'injection soient en nombre suffisant relativement à la taille de l'appui et que des évents soient disposés également au pourtour. Il faut finalement ne pas oublier de maintenir la pression suffisamment longtemps à la fin de l'injection pour s'assurer qu'aucun vide ne subsiste sous l'appareil d'appui.

Il serait prudent de vérifier une dernière fois, avant le durcissement du coulis, le nivellement de chaque appareil. Une fois le coulis durci, le cordon de retenue doit être enlevé pour permettre une inspection visuelle du coulis mis en place.

Vérifications à faire après la mise en place des poutres ou le bétonnage du tablier

Une fois une poutre mise en place, il faut s'assurer encore une fois que chaque appareil d'appui est vraiment bien localisé et qu'il ne s'est pas déplacé lors de la mise en place de la poutre. Si c'est le cas, il faut relever immédiatement la poutre et remettre en place l'appareil fautif. Dans le cas d'un mauvais alignement de l'appareil d'appui par rapport au centre de la poutre, il faut se référer aux tolérances d'installation qui apparaissent sur les plans d'atelier des appareils d'appui.

Lorsque la plaque supérieure d'un appareil d'appui en élastomère fretté (avec ou sans éléments glissants), ou les plaques inférieure et supérieure d'un appareil d'appui à élastomère confiné, doivent être soudées au chantier à une poutre, et à une plaque d'assise pour un appareil d'appui à élastomère confiné, la soudure doit être réalisée dès que possible après la mise en place des poutres pour éviter tout déplacement relatif entre l'appareil d'appui et la poutre ainsi que pour assurer la meilleure stabilité possible du système structural. Bien que souhaitable, il n'est pas obligatoire que cette soudure soit la soudure finale ou qu'elle respecte les dimensions exigées aux plans et devis. Selon les procédures généralement utilisées par les entrepreneurs, les appareils d'appui sont mis à leur emplacement définitif uniquement après la fin du montage complet de la charpente. Ceci est dû au fait que l'entrepreneur répartira les erreurs des espacements des poutres sur les appareils d'appui afin d'optimiser le centrage des appareils d'appui avec le centre des poutres. Il est donc toléré d'utiliser temporairement seulement une soudure minimale; toutefois, lorsque la charpente est à sa position finale, l'entrepreneur doit procéder au soudage complet des appareils d'appui.

Le zinc doit être enlevé, généralement par meulage (voir article 15.14.2.2.2 du CCDG), au droit des soudures plus une largeur d'environ 50 mm (voir la partie « Préparation du métal de base » du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » de ce manuel) ; En effet, les soudures sur des pièces galvanisées ne sont pas permises parce que le zinc contamine le bain de fusion, ce qui peut introduire des fissures microscopiques à l'intérieur des soudures qui peuvent se propager au cours de la vie utile de l'ouvrage. Il est donc obligatoire d'enlever toute la galvanisation au droit de la soudure avant de procéder à une opération de soudage, de manière à ne pas altérer la qualité de la soudure. La surlargeur de 50 mm est requise, puisque la galvanisation sera brûlée lors de l'opération de soudage en raison de l'apport important de chaleur.

De plus, si l'acier de la plaque supérieure d'un appareil en élastomère fretté est de nuance 350A ou 350AT, ou que les plaques inférieure et supérieure d'un appareil à élastomère confiné est de nuance 350A, le type d'électrode utilisé doit être compatible avec cet acier afin d'avoir les mêmes caractéristiques d'anticorrosion. Le soudage ne doit pas produire de chaleur excessive afin de ne pas endommager les éléments en élastomère de l'appareil ni les plaques de téflon des appareils à éléments glissants. Il est recommandé de vérifier ce point en mesurant la température des plaques inférieure et supérieure de l'appareil d'appui lors du soudage au moyen d'un thermomètre à infrarouge, celle-ci ne devrait pas dépasser 120 °C.

La soudure doit être exécutée par une entreprise de soudage (division 2) et un soudeur qualifié selon les exigences de l'article 15.7.4.1.1 « Certification de l'entreprise et qualification du personnel effectuant les soudures » du CCDG. La soudure doit être exécutée selon les modalités du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en l'aluminium » du présent manuel. Mentionnons qu'il est maintenant exigé à l'article 15.7.5.4.2 « Contrôle des soudures » du CCDG que l'inspecteur en soudage doit attester sur-le-champ au surveillant que les soudures sont conformes aux exigences; un rapport écrit doit être ensuite remis dans les sept jours au surveillant.

Une fois les soudures complétées, les soudures et les surfaces d'acier environnantes dont le zinc a été enlevé doivent être protégées au moyen de deux couches d'enduit riche en zinc selon les exigences de l'article 15.14.2.2.4 « Réparation après galvanisation » du CCDG. Cette exigence du CCDG est importante pour ne pas nuire à la durabilité des appareils d'appui et des poutres.

Une fois la plaque supérieure d'un appareil d'appui en élastomère fretté (avec ou sans éléments glissants) soudée à une poutre en acier, il faut mettre en place deux écrous sur chaque tige d'ancrage. Ces deux écrous sont serrés à fond (à l'aide de deux clés à mâchoires d'une longueur d'environ 400 mm) l'un contre l'autre afin d'éviter leur desserrage éventuel. Les plans exigent le maintien d'un espacement libre minimal de 5 mm entre l'appareil d'appui et le dessous de l'écrou inférieur (excluant la rondelle) afin de permettre le mouvement relatif entre ces deux pièces ainsi que la rotation des poutres.

Dans le cas des appareils d'appui à élastomère confiné, le surveillant doit s'assurer que les plaques d'attache temporaires servant à maintenir les parties inférieure et supérieure des appareils sont enlevées dès la mise en place de chaque poutre. Dans le cas d'un tablier en béton coulé en place, ces plaques devraient être enlevées environ 24 heures après la fin du bétonnage. Bien que ces exigences ne soient pas contractuelles, elles constituent tout de même une bonne pratique afin de permettre la reprise du mouvement attribuable aux changements de température des poutres ou du tablier et d'éviter que les appareils ne s'endommagent de façon prématurée. Mentionnons que ces plaques n'ont pas pour rôle d'assurer la stabilité des poutres lors du montage de la charpente ou durant la construction de la dalle.

Protection des appareils d’appui

Une fois mis en place, les appareils d’appui doivent être protégés lors de tout travail réalisé à proximité de ceux-ci. Cette précaution est particulièrement importante dans le cas des appuis à élastomère confiné et des appuis comportant des éléments glissants, car il faut, entre autres, éviter de souiller la plaque d’acier inoxydable polie. Parmi les travaux qui peuvent salir ou endommager les appuis, citons la projection de béton ou le nettoyage des surfaces au jet d’eau sous pression.

Exemples de mise en place

Pour mieux visualiser le texte de cette partie du chapitre, le surveillant peut se référer aux figures 9.1-1 et 9.1-2, lesquelles permettent de visualiser plus facilement les différentes étapes de mise en place d’appareils d’appui les plus couramment utilisés.

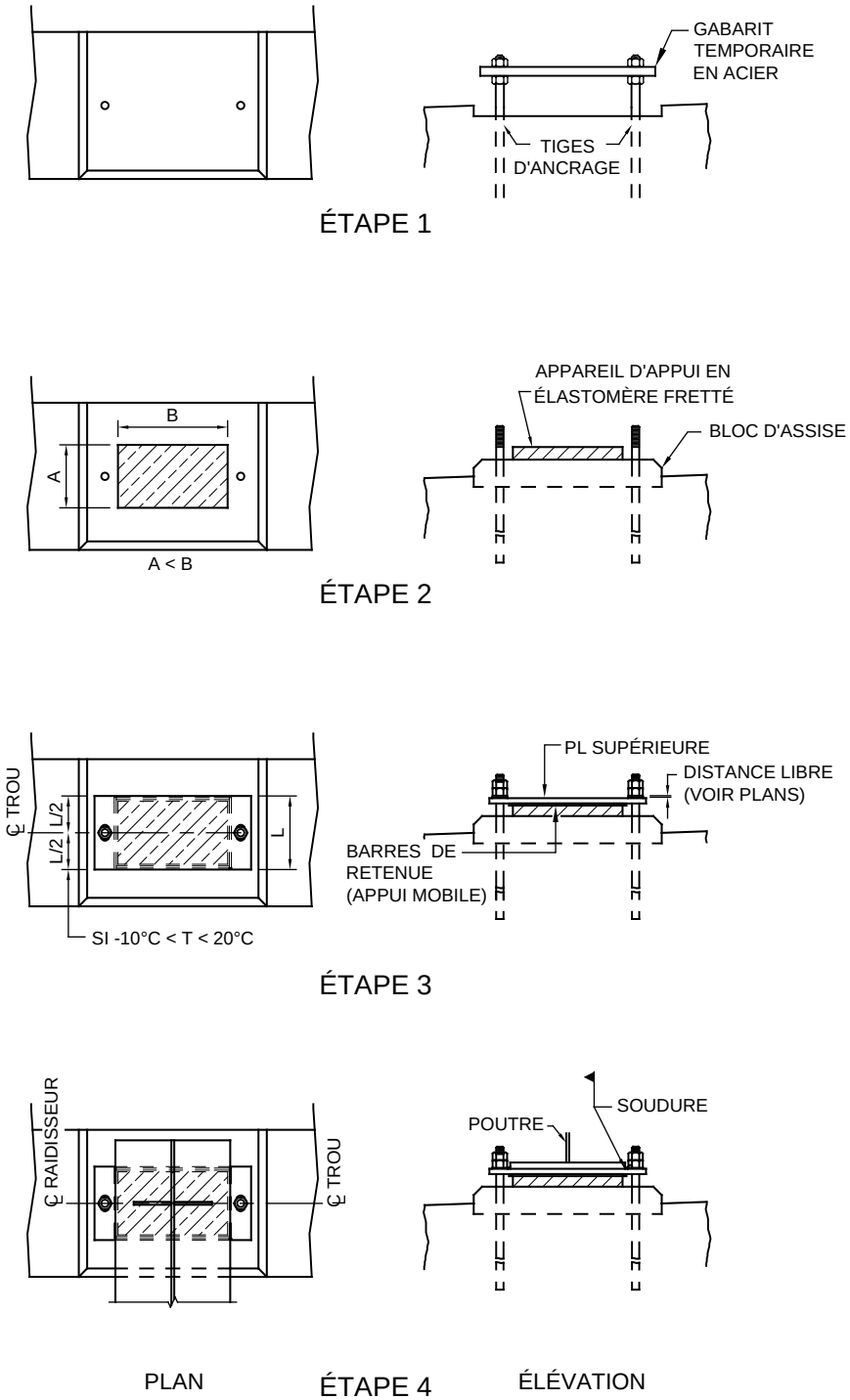


Figure 9.1-1 Étapes de mise en place d'un appareil d'appui en élastomère fretté sous une poutre en acier – exemple

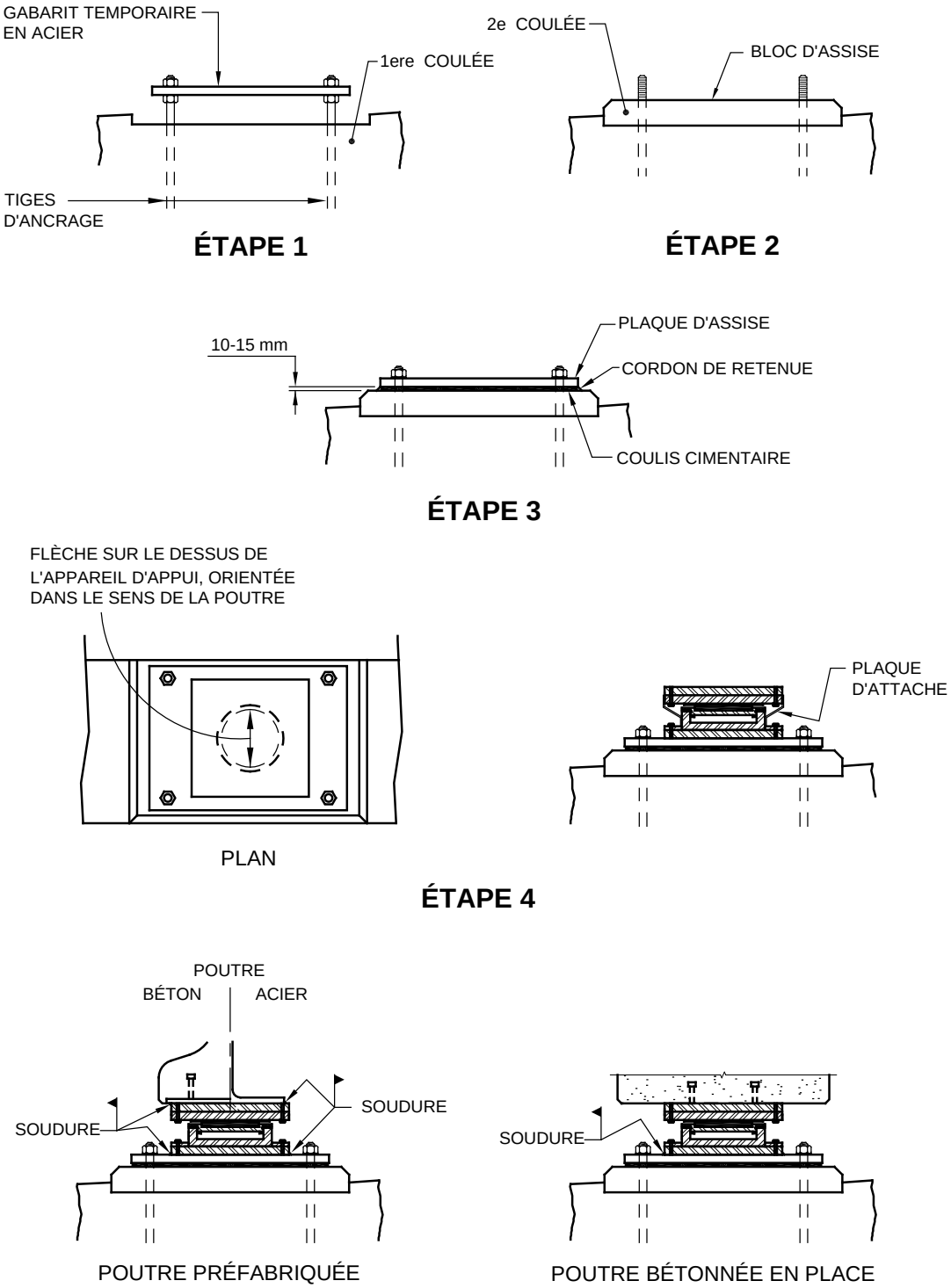


Figure 9.1-2 Étapes de mise en place d'un appareil d'appui à élastomère confiné - exemple

9.1.6.1 Appareil d'appui à élastomère confiné

Les notions relatives à ce type d'appareils ont été incorporées aux parties 9.1.6 « Mise en œuvre » et 9.1.6.2 « Remplacement d'appareils d'appui » du présent chapitre.

9.1.6.2 Remplacement d'appareils d'appui

L'information qui suit et qui s'applique au remplacement des appareils d'appui s'ajoute aux indications de la partie 9.1.6 « Mise en œuvre » du présent chapitre.

Pour procéder au remplacement des appareils d'appui, il faut habituellement effectuer un levage du tablier. Cette opération doit être réalisée selon les indications du plan décrivant les méthodes de levage et de support du tablier (voir la partie 9.1.1 « Documents requis » de ce chapitre.

Une fois construit et avant de procéder au levage, le système de levage et de support doit être inspecté par un ingénieur de l'entrepreneur et ce dernier doit signer l'avis écrit que l'entrepreneur doit remettre au surveillant indiquant la conformité du système au plan soumis. L'ingénieur ne peut pas déléguer cette activité à une autre personne, car le Ministère tient à ce que l'inspection soit faite par un ingénieur compte tenu des graves conséquences qui peuvent découler d'un vice de construction. Il n'est pas nécessaire que cet ingénieur soit celui qui a préparé le plan.

De plus, avant de procéder au levage, le surveillant et l'entrepreneur doivent s'entendre sur la façon de référencer l'élévation du dessus de chaque appareil d'appui à remplacer afin que l'ensemble du tablier repose sur les nouveaux appareils d'appui de la même façon que sur les anciens appareils. Cette notion, qui n'existe pas pour un tablier neuf, car les poutres sont déposées une par une sur les appareils, est très importante afin de ne pas induire d'efforts résiduels dans le tablier; en effet, si le tablier ne repose pas comme avant sur un appui, parce que le nouvel appareil d'appui a été mis en place à un niveau plus bas que l'ancien appareil, la charge supportée par ce nouvel appareil sera reprise en partie par les appareils d'appui voisins au prix de contraintes importantes dans les diaphragmes ou les contreventements.

Dans le cas du remplacement d'appareils d'appui en présence d'un joint dalle sur culée, il est primordial que les poutres soient replacées très exactement au même niveau. En effet, ce type de joint n'offre aucune souplesse de nivellement. Dans le cas où l'on se retrouve à un niveau plus élevé qu'auparavant, il sera nécessaire de faire une injection dans l'espace créé entre le dessus du mur garde-grève et le dessous de la dalle du tablier. L'espace minimal requis pour une injection est de 10 mm. Le tablier devra être rehaussé d'autant et les approches devront être corrigées.

La façon de référencer l'élévation du dessus de chaque appareil d'appui n'est pas toujours simple. Le cas le plus facile se produit lorsque le niveau du dessous des poutres ne change pas. Ce n'est malheureusement pas le cas lorsqu'une réparation des extrémités de poutres est nécessaire. Ce qu'il faut retenir, c'est que le niveau du

dessus du tablier, au droit de chaque appareil d'appui, soit le même. Donc, si la hauteur entre le dessous d'une poutre et le dessus du tablier est augmentée vis-à-vis un appareil d'appui, il faut réduire d'autant le niveau du dessus du nouvel appareil d'appui.

Le surveillant se doit de vérifier lors du levage le comportement des poutres de levage et des diaphragmes. Il doit arrêter les travaux s'il constate des dommages à ces éléments. Il doit se référer au contenu de l'activité 3002 du *Manuel d'entretien des structures* pour une information complète concernant les précautions à prendre lors du levage. Mentionnons tout de même ici que des supports temporaires par tranches d'au plus 3 mm devraient être mis en place afin d'éviter une chute trop importante du pont en cas de bris d'un des vérins.

Il est important de mentionner que si le projet inclut à la fois des travaux aux appareils d'appui et au joint de tablier sur une même unité de fondation, les travaux sur les appareils d'appui doivent d'abord être réalisés afin de ne pas modifier le profil longitudinal au droit du joint.

Lorsqu'on procède au remplacement d'un appareil d'appui à élastomère confiné, le nouvel appareil est généralement fixé à l'unité de fondation au moyen d'ancrages filetés insérés dans des trous forés dans le béton. Il en est de même pour les appareils d'appui en élastomère fretté pour lesquels une nouvelle plaque d'appui est mise en place. Lorsqu'on installe ces ancrages au-dessus d'un chevêtre, il faut vérifier la localisation des armatures existantes afin de ne pas couper une barre importante sur le plan structural. On ne doit pas non plus intercepter de barres verticales lors du forage du trou, puisqu'il sera impossible de retirer la carotte de béton.

Le concepteur essaie toujours, lors de la préparation des plans et devis, de se servir des plaques inférieure et supérieure des appareils d'appuis existants et d'y souder le nouvel appareil. S'il ne lui semble pas possible d'utiliser la plaque inférieure existante, la nouvelle plaque inférieure doit excéder les dimensions de la poutre pour permettre de fixer celle-ci au béton de l'assise. L'appareil d'appui est mis en place horizontalement à partir du devant de l'unité de fondation. Dans le cas d'une poutre en béton, si le concepteur n'a pas jugé possible de se servir de la plaque supérieure existante, la nouvelle plaque est fixée selon les indications des plans, normalement sur les faces verticales de la semelle inférieure de la poutre.

Lorsqu'on procède au remplacement d'appareils d'appui en élastomère fretté, il faut s'assurer, dans le cas d'un pont avec poutres en béton, que le cadre en acier situé autour de chaque appareil est inséré en place en même temps que chaque appareil d'appui. Ce cadre diffère de celui utilisé pour un pont neuf, puisqu'il se prolonge au-delà des dimensions de la poutre afin qu'il puisse être fixé au béton de l'assise.

9.2 JOINTS DE TABLIER

Cette partie du chapitre a pour objet premier de couvrir les dispositions relatives à la mise en place de nouveaux joints de tablier et au remplacement de joints existants. Les notions relatives au joint dalle sur culée sont couvertes dans le chapitre 4 « Ouvrages

en béton » de ce manuel. Il est recommandé au surveillant de consulter la Direction générale des structures du Ministère avant de procéder à la mise en place d'un joint asphaltique. Rappelons que ce type de joint est composé de granulats auxquels on ajoute un bitume.

Les joints installés sur des ponts neufs sont habituellement situés aux culées, car les dommages causés par un joint non étanche sont plus difficiles à réparer lorsqu'un joint est situé à une pile. De plus, les dommages éventuels seront plus faciles à réparer sur une culée étant donné que cette dernière est généralement plus accessible. Dans le cas des ponts existants, bien des joints déjà en place sont localisés aux piles, mais le concepteur des travaux de réparation essaie de diminuer le nombre de joints et de mettre ceux qui sont vraiment nécessaires aux culées. Bien que cette diminution soit d'abord dictée par la volonté de réduire les inconvénients associés au manque d'étanchéité des joints, elle facilite aussi le travail du surveillant compte tenu des efforts considérables à déployer pour mettre en place un joint. Lorsque le nombre de joints d'un pont existant n'est pas diminué, probablement parce qu'il est déjà peu élevé, il ne faut pas se surprendre que le nouveau joint ait une ouverture plus faible par rapport à celui de l'ancien joint; cela est dû au fait que les effets du retrait et du fluage du béton sont disparus et que seul le facteur température est tenu en compte dans le calcul du mouvement du nouveau joint.

Le joint de tablier est un équipement qui permet de créer un espace libre entre deux parties du tablier d'un pont, ou entre un tablier et la culée, afin de permettre le mouvement relatif entre ces éléments de pont. Le joint de tablier est essentiel dans le fonctionnement structural d'un pont. Tous les ponts ont un ou des joints de tablier, sauf ceux ayant une petite portée et ceux qui n'en nécessitent pas comme les portiques et les ponts intégraux.

L'installation du joint de tablier doit être faite de façon à ne pas entraîner de problèmes associés à son utilisation. Pour ce faire, le dessus du joint doit être le plus confortable possible pour les usagers. Cela permet également de réduire l'impact des véhicules lourds sur le tablier. Il faut donc que le joint s'intègre parfaitement aux profils transversal et longitudinal de la surface de roulement située de part et d'autre. Il s'agit là du principal défi de l'entrepreneur en ce qui concerne les joints. L'ouverture maximale de 120 mm permise pour un joint à une garniture s'inscrit aussi dans cet objectif.

Le joint de tablier doit également être étanche afin que les eaux chargées de chlorures ne viennent pas endommager les éléments sensibles de pont situés sous celui-ci. Puisque les dommages occasionnés par les joints non étanches arrivent au second rang des dépenses consacrées à l'entretien des structures, cela explique la politique du Ministère qui consiste à limiter au strict minimum le nombre de joints requis pour le bon fonctionnement du pont.

Parmi les modèles de joints offerts dans la famille des joints étanches, le Ministère utilise le modèle à garniture enclenchée depuis la fin des années 1980. Ce joint est composé de deux profilés d'enclenchement retenant une garniture à paroi simple et de plaques d'ancrage servant à fixer les profilés d'enclenchement au béton de la dalle, ou

de la culée. De plus, un dalot est souvent incorporé au joint par le concepteur lorsque les conditions l'exigent. Ce dalot sert à canaliser les fuites d'eau éventuelles vers les côtés du pont. Dans le cas des joints de tablier sans dalot, des butoirs sont soudés sous les profilés d'enclenchement pour protéger la garniture d'étanchéité; en effet, ces butoirs permettent de conserver une distance libre de 20 mm entre les profilés même en cas de mouvement imprévu des unités de fondation. Lorsque le mouvement total du joint excède 100 mm, un joint multi modules, soit à plus d'une garniture est utilisé, chaque garniture reprenant une portion à peu près égale du mouvement sans toutefois dépasser 80 mm chacune. Les garnitures d'un joint à plus d'une garniture sont aussi du type enclenché, mais la notion de dalot n'existe habituellement pas pour ces joints, bien qu'il soit possible d'y prévoir un dalot flexible.

Le Ministère n'utilise que le joint avec épaulements d'acier (auparavant appelé « de type HSS ») dans le cas de joint simple. Les joints multi-modules sont quant à eux de type à épaulement en béton. Ce joint se distingue du type de joint utilisé par le passé (joint avec épaulements en béton) par le fait que les épaulements en béton sont remplacés par des profilés HSS. Il est donc beaucoup plus confortable pour les usagers puisqu'il est trois fois moins large que le joint avec épaulements en béton. La mise en place des joints avec épaulements en acier se fait comme celle des joints avec épaulements en béton si ce n'est la pose d'un coulis à l'intérieur des profilés HSS.

Pour la suite de cette partie concernant les joints de tablier, quand il sera mention de joint, il faut comprendre que l'on fait allusion aux joints de tablier avec épaulements en acier sauf si indiqué autrement.

Les joints de tablier et leurs caractéristiques sont décrits à la section 11.3 « Joints de tablier » du *Manuel de conception des structures*. La figure 9.2-1 montre un joint de tablier à une garniture. La hauteur du dalot varie selon que le joint est posé sur un nouveau tablier ou non.

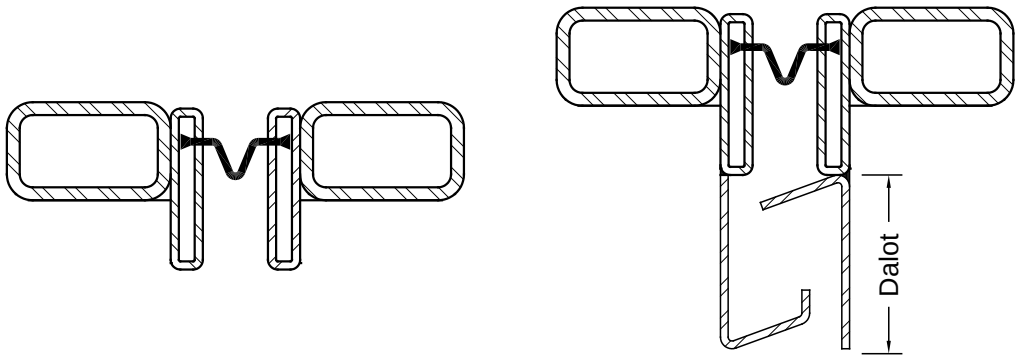


Figure 9.2-1 Joint de tablier à une garniture (vue partielle)

9.2.1 Documents requis

Les plans d'atelier des joints de tablier doivent être remis au surveillant par l'entrepreneur. Bien que la conception et la fabrication des joints de tablier doivent être conformes à la norme CAN/CSA-S6, cette exigence du CCDG concerne peu le surveillant, car le joint proposé par l'entrepreneur doit être préalablement accepté par le Ministère. Cette exigence du devis spécial signifie qu'un joint doit avoir déjà fait l'objet d'une analyse et d'essais préalables en collaboration avec le Ministère.

Même si les plans d'atelier reproduisent presque intégralement les plans de soumission, il ne faut pas se surprendre qu'il y ait des différences entre les deux, puisque pour le remplacement de joints existants, le fournisseur se rend généralement sur le site pour vérifier l'exactitude des cotes des plans de soumission. Une des erreurs décelées couramment concerne le calcul de la distance horizontale entre les chasse-roues qui doit se faire à partir du dessus de l'épaulement du joint plutôt qu'à partir du dessus de la dalle; cette erreur entraîne une sous-évaluation de la longueur du joint d'environ 26 mm. De plus, les fournisseurs utilisent souvent un acier de nuance différente (ASTM A1011 grade 50, ASTM A572 grade 50 ou ASTM A36 extrudé) de celle indiquée dans les plans de soumission pour les profilés d'enclenchement, alors que pour les profilés HSS, un acier de nuance ASTM A500 grade C peut aussi être utilisé; cette pratique est connue et acceptée par le Ministère. Mentionnons finalement que dans le cas d'un joint avec un biais, les plans d'atelier seront différents des plans de soumission, puisque ces derniers ne montrent que l'angle du biais.

Dans le cas des joints à une garniture fournis par LCL Ponts, l'ouverture « J » à 15 °C dans le tableau « Température-Ouverture » des plans d'atelier doit être de 50 mm afin d'être en mesure de poser la garniture. En effet, la garniture produite par ce fournisseur est légèrement plus rigide, donc un peu moins malléable. Cette ouverture est de 40 mm dans le cas Goodco/Z-Tech. Le surveillant peut généralement accepter cette modification sauf lorsque le mouvement total se rapproche de la limite supérieure de la capacité du joint. En effet, si l'ouverture est ajustée à une valeur trop grande, cela peut entraîner le déchirement de la garniture si l'ouverture excède 120 mm, par temps froid.

Les joints d'assemblage sont utilisés entre les phases des travaux ou lorsque la longueur du joint excède 12 m, cette dernière valeur étant la longueur habituelle des bains de galvanisation au Québec. Dans ce dernier cas, il faut s'assurer que les joints d'assemblage sont situés le plus près possible du point haut transversal ou, pour un pont avec dévers, à mi-largeur du pont. En effet, compte tenu de la difficulté à bien étancher les joints d'assemblage, il serait mal avisé de localiser ceux-ci près des points bas transversaux où le volume d'eau de ruissellement est élevé. Le surveillant se doit de consulter le concepteur si l'emplacement des joints d'assemblage tel que mentionné dans les plans de soumission ou d'atelier lui semble inapproprié.

Approbation des documents

Les plans d'atelier doivent être signés et scellés par un ingénieur, sauf si les plans sont une copie sans aucune modification des documents de soumission, ce qui est rarement le cas pour les joints de tablier.

L'entrepreneur doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG pour la remise de ces documents, y compris le délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour les étudier.

Le surveillant doit viser les plans d'atelier. Une copie visée des plans doit être ensuite transmise au concepteur pour information. Le surveillant peut demander au concepteur de viser les plans s'il ne se sent pas à l'aise pour les viser lui-même. Dans ce cas, le concepteur retourne les plans visés au surveillant. La fabrication des joints ne peut pas débuter avant que ces plans visés n'aient été retournés à l'entrepreneur.

Le visa est un acte par lequel le surveillant reconnaît que les plans sont conformes dans ses grandes lignes aux documents contractuels; l'entrepreneur conserve cependant l'entière responsabilité de l'exactitude des détails, des dimensions et des quantités. Le surveillant doit tout de même s'assurer de l'exactitude de certaines données de base comme la conformité des matériaux utilisés, la largeur de la voie carrossable, les devers, la largeur et la hauteur des côtés extérieurs, l'emplacement du point haut transversal et celui des joints d'assemblage. Le dessin de la garniture d'étanchéité montrant ses caractéristiques géométriques doit apparaître sur les plans d'atelier. L'angle du biais est aussi à vérifier ainsi que l'angle des plaques d'ancrage par rapport aux profilés d'enclenchement. Ces plaques d'ancrage doivent être parallèles à la ligne de centre du pont afin de diminuer le plus possible leur impact sur la sécurité des motocyclistes et les équipements de déneigement et faciliter la mise en place des armatures à proximité du joint.

La figure 7.1-1 du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » du présent manuel montre l'estampe type utilisée à titre de visa.

9.2.2 Matériaux

La conformité des matériaux est généralement vérifiée en usine par le personnel de la DCQM du Ministère, ou par l'un de ses prestataires de services, lorsque le contrat fait l'objet d'un suivi en usine.

Mentionnons tout de même que le surveillant n'a pas à envoyer un échantillon de garniture à la DCQM du Ministère pour analyse. Celle-ci fait un prélèvement de garniture de temps à autre directement à l'usine pour s'assurer que celle-ci respecte les exigences.

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*.

Fabrication

La fabrication des joints de tablier est vérifiée en usine par le personnel de la DCQM, ou par l'un de ses prestataires de services, lorsque le contrat fait l'objet d'un suivi en usine. Si ce n'est pas le cas, le surveillant n'a pas à faire ce suivi, puisqu'il lui est toujours possible de vérifier la qualité de la fabrication lors de la livraison des joints au chantier.

Les fournisseurs reconnus par le Ministère pour un joint de tablier à une garniture ou à plus d'une garniture sont Goodco-Z-Tech et LCL Ponts.

9.2.3 Mise en œuvre

Réception des joints

Dès la réception des joints de tablier au chantier, le surveillant doit veiller à ce qu'ils soient entreposés dans un endroit en retrait, de façon à ce qu'ils ne soient pas endommagés lors des opérations de chantier. Il doit aussi s'assurer qu'ils sont déposés à plat sur des supports suffisamment rapprochés pour empêcher leur gauchissement. Des précautions particulières doivent être prises pour entreposer adéquatement le rouleau de garniture afin d'éviter de l'endommager. Le surveillant ne doit pas hésiter à intervenir auprès de l'entrepreneur si les conditions de déchargement et d'entreposage ne sont pas satisfaisantes.

Le surveillant doit aussi s'assurer dès la livraison des joints de tablier que ceux-ci sont conformes aux plans d'atelier visés, notamment en ce qui concerne :

- la longueur de chacun des joints, qui doit être égale à la distance selon le biais entre les chasse-roues au niveau du dessus du joint additionnée de 30 mm. Cette distance de 30 mm s'impose afin de protéger le joint de l'action des équipements de déneigement, qui sont ainsi en retrait de 15 mm par rapport aux chasse-roues;
- la remontée des profilés d'enclenchement aux extrémités du joint. Cette remontée doit se faire selon un angle d'environ 30º, sauf pour les joints à une garniture pour un côté de pont avec un trottoir ou une piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle, afin de faciliter la pose de la garniture;
- la largeur de la garniture qui doit être conforme à la valeur apparaissant dans les plans d'atelier (géométrie de la garniture). Si cette dernière n'y est pas mentionnée, le surveillant doit se référer au concepteur du joint afin d'être bien sûr que la garniture livrée au chantier a la largeur nécessaire pour reprendre le mouvement anticipé indiqué dans les plans;
- la hauteur du dalot. La hauteur totale du joint d'un nouveau tablier doit être de 300 mm afin de diminuer le besoin de coffrages sous le joint. Par contre, celle d'un joint utilisé pour remplacer un joint existant doit être de 230 mm afin que le joint n'excède pas le dessous de la dalle; bien que cette hauteur nécessite l'utilisation de coffrages sous le joint, cette précaution est importante pour que le joint n'entre pas en conflit avec les poutres;

- les distances libres « A » et « B » entre les deux parties du dalot sont conformes aux valeurs des plans d'atelier pour une température de 15 °C. L'exactitude de ces distances est nécessaire pour que le dalot fonctionne adéquatement;
- le cas d'un joint à plus d'une garniture. Les garnitures temporaires exigées dans le CCDG, lorsque les travaux sont réalisés en phases, doivent être en place. Cette précaution s'impose afin de protéger contre les intempéries le mécanisme délicat d'espacement des différents modules situé sous le joint. De plus, il faut vérifier que la plaque de cloison située de chaque côté du joint est suffisamment grande pour descendre jusqu'au-dessous projeté de la dalle. Cette plaque, qui a pour premier rôle d'empêcher le béton frais de pénétrer dans les boîtes de support, permet aussi de réduire l'emploi de coffrages sous le joint. Le surveillant doit aussi vérifier l'espacement des ressorts d'équidistance et des barres de support. Finalement, il doit s'assurer que les plaques couvre-joints des chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables ou glissières sont fixées adéquatement.

Dans le cas où le fabricant désire absolument installer les garnitures permanentes, il devra mettre en place un système d'étanchéité suffisamment résistant pour empêcher que la garniture ne soit pas endommagée ou salie pendant les travaux. Cela est tout de même interdit dans le cas d'un joint assemblé en phases.

Le surveillant doit aussi vérifier que les joints ne sont pas tordus à la suite du procédé de galvanisation ou du transport. Une façon simple de faire cette vérification est de déposer un niveau de menuisier centré sur le joint, si le niveau ne touche pas sur toute la largeur des tubes HSS, le joint est tordu et il doit être retourné à l'usine pour correction. Il est recommandé de faire la vérification à plusieurs endroits sur le joint. Il est très important de faire cette vérification, car un joint tordu est très difficile à mettre en place de manière à obtenir un profil longitudinal confortable au droit du joint.

Mentionnons que le surveillant ne doit pas se fier entièrement au suivi effectué en usine par la DCQM, puisque celui-ci porte principalement sur les méthodes de travail du fournisseur. En cas de doute, le surveillant doit consulter la DCQM notamment en ce qui a trait aux soudures et à la galvanisation.

Toute anomalie doit être immédiatement signalée à l'entrepreneur afin que les corrections soient apportées rapidement de façon à ne pas retarder indûment les travaux. Le surveillant doit informer le concepteur de la nature de ces corrections.

Vérifications à faire avant la mise en place d'un joint de tablier

Pour tous les joints, qu'ils aient une seule garniture ou qu'ils aient plus d'une garniture, l'entrepreneur doit ajuster l'ouverture libre « J » entre les profilés d'enclenchement à la valeur indiquée dans les plans d'atelier, selon la température de l'air ambiant mesurée sous le pont peu avant de fixer le joint par soudage aux barres d'armature. Cette exigence du CCDG est nécessaire afin d'obtenir la température la plus rapprochée possible des matériaux composant le système structural; il ne faut jamais tenir compte de la température de l'air au-dessus de la structure, puisque cette dernière peut être très différente de la température moyenne du tablier. Cette exigence est minimale et il

ne faut pas hésiter à employer la température moyenne (des dernières 48 heures pour un pont en béton et des dernières 24 heures pour un pont en acier), surtout lorsque la température change rapidement.

L'ouverture « J » doit toujours être mesurée perpendiculairement au joint, même si le joint est en biais.

Mentionnons que les sections de joint sont fournies préassemblées en usine à une ouverture « J » correspondant à 15 °C. Si la température ambiante diffère sensiblement de cette valeur, le joint doit être ajusté en conséquence. L'opération d'ajustement doit être réalisée soigneusement afin que l'écartement entre les profilés d'enclenchement soit uniforme sur toute la longueur du joint; les boulons retenant les deux parties du joint doivent ensuite être serrés à fond pour que le joint ne se déforme pas lors de sa manutention ainsi qu'une fois mis en place et positionné selon les profils établis. Mentionnons que cette opération est très importante, car si l'ouverture « J » est ajustée à une valeur trop petite, cela peut entraîner des dommages au joint lui-même et aux autres éléments de pont adjacents par temps chaud. À l'inverse, si l'ouverture est ajustée à une valeur trop grande, cela peut entraîner le déchirement de la garniture et un danger pour les usagers (par exemple : si l'ouverture excède 120 mm pour un joint de tablier à plus d'une garniture) par temps froid. Dans les deux cas, le joint de tablier serait non fonctionnel et une source importante de problèmes.

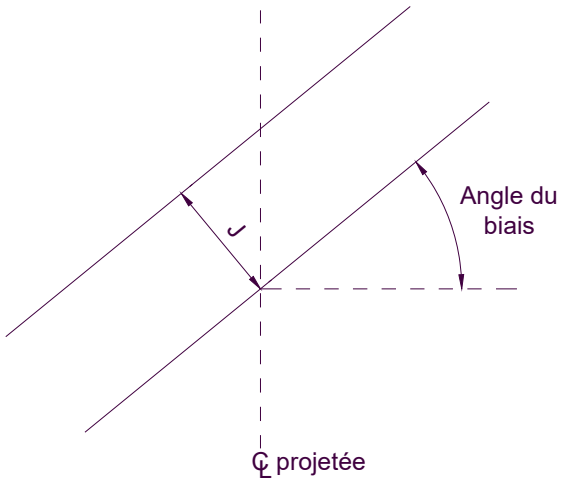
Dans le cas d'un joint à plus d'une garniture, il faut aussi veiller à ce que, une fois l'ajustement de l'ouverture « J » terminé, la distance entre les enclenchements soit à peu près la même pour chaque garniture avec une tolérance de 10 mm. Cette exigence du CCDG est nécessaire pour que le mouvement total soit réparti également entre les garnitures. Si ce n'est pas le cas, il faut retourner le joint à l'usine pour que celui-ci soit réparé.

La figure 9.2-2 montre un exemple du tableau « Ouverture–Température » ainsi que la façon de mesurer l'ouverture pour un pont avec biais.

Température de pose (°C)	Ouverture "J" (mm)
MAX.	25
25	30
15	40
5	50
MIN.	80

MAX. 40°C pont en acier
30°C pont en béton

MIN. −30°C pont en acier
−25°C pont en béton



Pont avec biais

Figure 9.2-2 Tableau « Ouverture–Température » d'un joint de tablier – exemple

Remplacement d'un joint de tablier

Dans le cas du remplacement d'un joint de tablier à une culée, il peut arriver que les plans prévoient la démolition du garde-grève et sa reconstruction en l'éloignant suffisamment du tablier pour permettre au joint de tablier de fonctionner de façon adéquate. Cette intervention est nécessaire à la suite du déplacement de la culée vers le tablier qui se présente surtout sur des unités de fondation construites sur un sol de faible capacité.

Dans le cas d'un joint de tablier d'un pont avec biais dont la partie du joint au droit des chasse-roues, des trottoirs, des pistes cyclables ou des glissières n'est pas située dans l'axe du joint situé vis-à-vis les voies carrossables, il est généralement indiqué dans les plans de redresser les parties du joint localisées vis-à-vis de ces éléments. Ces travaux sont nécessaires pour permettre la pose de la garniture du joint de façon rectiligne, sinon il faudrait, au changement de direction de plus de 30º, couper la garniture et la coller sur place. Cette dernière opération, qui ne donne jamais de bons résultats sur le plan de l'étanchéité, est interdite compte tenu de l'écoulement des eaux de ruissellement près des chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle ou glissières.

Lors d'un remplacement de joint, le positionnement adéquat du nouveau joint est une opération très délicate à réaliser Le profil longitudinal du dessus de la dalle laisse souvent à désirer au droit des unités de fondation puisque la cambrure résiduelle des poutres n'a pas été bien évaluée lors du bétonnage de la dalle. Si l'épaulement métallique du joint dépasse le niveau final du pavage, celui-ci sera accroché par les

lames des charrues et sa durabilité s'en trouvera affectée. Comme déjà mentionné, un joint confortable a la qualité de réduire au minimum les effets dynamiques sur le système structural causés par le passage des camions.

Dans le cas où le revêtement bitumineux est enlevé sur toute la superficie de la structure, l'article 15.11.3.3.1 « Mise en place de l'enrobé sur une dalle existante » du CCDG contient un texte exigeant que l'entrepreneur fasse un relevé d'arpentage du dessus du béton de la dalle afin de calculer l'épaisseur en tout point de la couche de correction d'enrobé. Ces opérations, qui sont similaires à celles du calcul de la hauteur des goussets d'une dalle neuve, ont pour objectif de corriger le plus possible le profil longitudinal du dessus du platelage. La procédure à suivre est clairement indiquée au CCDG. Encore une fois, cette opération vise à ne pas avoir un épaulement plus haut que le pavage environnant.

Globalement, la correction d'une dalle neuve est réalisée à l'aide d'un enrobé EC-10 si les épaisseurs sont inférieures à 40 mm et en ESG-10 entre 40 et 60 mm de correction. Les épaisseurs de corrections ne doivent pas être inférieures à 25 mm.

Mentionnons tout de même que le surveillant ne dispose que de cinq jours pour analyser la liste des épaisseurs calculées de la couche de correction remise par l'entrepreneur. Son analyse doit porter sur deux points essentiels, soit le profil longitudinal obtenu et l'impact de l'ajout de charge morte sur la capacité évaluée de la structure. Puisqu'il n'est pas possible de mettre en place une correction à l'enrobé sur une épaisseur dépassant la capacité de la structure, le surveillant doit trouver le compromis entre le meilleur profil longitudinal possible et la charge morte maximale que le système structural peut supporter. Une fois le profil longitudinal établi, il suffit alors de positionner le joint conformément à celui-ci.

Le surveillant doit consulter le concepteur pour connaître ses intentions relativement aux conduits de services publics présents dans les chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables ou glissières. Si le devis spécial ne mentionne pas les précautions que l'entrepreneur doit prendre pour protéger les conduits, et assurer ainsi la continuité des services durant les travaux, c'est sûrement parce que le concepteur a entrepris des démarches pour les déplacer temporairement. De plus, qu'il y ait ou non déplacement temporaire, le surveillant doit s'enquérir auprès de l'entrepreneur du type de manchons qu'il prévoit utiliser afin que les mouvements de translation au droit du joint de tablier puissent être repris. Mentionnons que les caractéristiques de ces manchons ne sont pas décrites dans les plans et devis, mais elles devraient être conformes aux exigences des compagnies propriétaires des services publics. Le surveillant doit donc les consulter à ce sujet.

Mise en place d'un joint de tablier

Les travaux relatifs à la mise en place des joints de tablier sont généralement exécutés par l'entrepreneur général. Toutefois, certaines parties de ces travaux doivent être réalisées par un sous-traitant spécialisé, dont celles concernant la pose de la garniture de certains joints. Une rencontre préalable à ces travaux, regroupant tous les

intervenants, au cours d'une réunion de chantier, par exemple, doit être organisée afin que les exigences du Ministère (du CCDG ainsi que des plans et devis) et les particularités du projet soient bien comprises. Il ne faut pas oublier aussi de passer en revue la procédure d'installation recommandée par le fournisseur, laquelle est indiquée dans les plans d'atelier.

Dans le cas d'une dalle neuve, le joint de tablier est mis en place, dans les cavités prévues à cette fin, seulement après le bétonnage de la dalle ou du tablier. Cette exigence du CCDG s'impose afin de permettre le passage de l'équipement utilisé pour la finition du béton de la dalle ou du tablier; elle est aussi nécessaire pour que le joint ne puisse être positionné qu'une fois la rotation des poutres effectuée à la suite du bétonnage de la dalle.

La manutention du joint, ou de sections de joint, doit se faire avec soin pour éviter son gauchissement et l'endommagement de la galvanisation.

Le joint de tablier doit être mis en place de façon à respecter les profils longitudinal et transversal des plans de soumission d'une dalle neuve ou ceux établis à la suite du relevé d'arpentage d'une dalle existante. Dans le cas où le revêtement bitumineux d'une dalle existante n'est enlevé qu'au droit du joint, les profils du joint doivent être identiques à ceux du pavage demeuré en place afin d'obtenir le meilleur confort de roulement possible et une durabilité adéquate du joint.

Le joint avec épaulement en acier doit être bien positionné selon la pente de la route de manière à toujours être situé à égalité ou quelques millimètres en dessous du pavage prévu. Un joint avec épaulements d'acier positionné trop haut ou ayant une épaisseur insuffisante de pavage engendre une usure prématurée des profilés HSS des épaulements en raison du passage des véhicules, mais également en raison des équipements de déneigement qui strient considérablement ces profilés. Les plans types précisent qu'une fois l'enrobé posé, l'épaulement soit situé à égalité ou jusqu'à 5 mm en deçà de la surface de celui-ci, mesuré avec une règle de 3 m. Cependant, compte tenu des problèmes liés à l'orniérage du pavage, il est recommandé de chercher à obtenir un dessus du joint environ 5 mm sous le niveau fini du nouveau pavage plutôt qu'à égalité.

Bien que chaque entrepreneur ait sa façon bien à lui de positionner un joint de tablier selon les profils exigés, il existe une règle de bonne pratique pour ce faire. Il faut d'abord mentionner que la règle varie selon que le joint est posé dans l'une ou l'autre des circonstances suivantes :

- un joint de tablier posé sur une dalle neuve. C'est le cas le plus simple, puisque les profils longitudinal et transversal exigés dans les plans ont toutes les chances d'être conformes à la suite de l'utilisation d'équipements spécialisés pour mettre en place le béton de la dalle. Pour un joint situé à une pile, l'entrepreneur tend généralement une corde dans le sens longitudinal de la structure à chaque extrémité du joint ou de la section de joint ainsi qu'au point haut transversal s'il y a lieu. Le profil de la corde doit suivre le profil de la dalle à une distance de 65 mm au-dessus de celle-ci; cette distance de 65 mm représente l'épaisseur de la membrane d'étanchéité et de

l'enrobé. Il suffit alors de s'assurer que le dessus du joint effleure, et préférablement, soit un peu en dessous de la corde en tout point. Il faut ensuite s'assurer que la portion de joint située entre deux cordes est rectiligne. Pour un joint situé à une culée, il faut utiliser un niveau d'arpentage pour positionner les cordes, puisqu'il n'y a pas de dalle du côté remblai. La longueur des cordes devrait excéder chaque côté du joint de quelques mètres;

- un joint de tablier posé sur une dalle existante sur laquelle le revêtement a été complètement enlevé. La règle de bonne pratique du point précédent s'applique à l'exception qu'il faut toujours utiliser un niveau d'arpentage étant donné que le profil de la dalle laisse souvent à désirer. Les profils transversal et longitudinal correspondent à ceux établis pour le nouvel enrobé, à la suite du relevé d'arpentage dont il a été question précédemment;
- un joint de tablier posé sur une dalle existante sur laquelle le revêtement n'a pas été complètement enlevé. La règle de bonne pratique du positionnement du joint à une pile s'applique à l'exception de la corde qui doit être positionnée pour tenir compte de l'épaisseur et des profils du revêtement en place au voisinage du joint. Il faut cependant s'assurer que l'épaisseur d'enrobé nécessaire de part et d'autre du joint ne soit pas inférieure à 65 mm sur toute la longueur du joint. Cette exigence des plans est nécessaire, sinon, l'épaulement métallique sera trop exposé aux impacts de charrue. Si l'exigence d'épaisseur minimale n'est pas respectée, il faut corriger le profil de l'enrobé en conséquence.

Dans le cas du remplacement d'un joint de tablier existant, il peut arriver qu'il faille découper dans les plaques situées sous les profilés d'enclenchement, au droit des côtés extérieurs, afin de permettre le passage des conduits de services publics.

Une fois le joint de tablier mis en place et positionné conformément aux profils établis, il faut vérifier que le dessus du joint n'excède pas le plan des surfaces de béton environnantes des chasse-roues, des trottoirs et des pistes cyclables sans toutefois être à plus de 15 mm sous ce plan. Cette exigence du CCDG est nécessaire pour des raisons d'esthétique; dans le cas des trottoirs et des pistes cyclables, cela est aussi requis pour la sécurité des piétons et pour les opérations de déneigement. Si le dessus du joint ne respecte pas cette exigence, il faut le démonter et le retourner à l'usine pour que des correctifs soient apportés.

Une fois le positionnement du joint de tablier terminé et vérifié, il faut immédiatement fixer le joint par soudage aux armatures de la dalle, et du garde-grève si le joint est situé à une culée, afin d'éviter toute modification de l'ajustement jusqu'au bétonnage du joint et au durcissement du béton. À moins d'une indication contraire dans les plans et devis, aucune soudure ne doit être autorisée sur les poutres d'acier.

Mentionnons que les joints de tablier avec épaulements en acier sont pourvus de vis d'ajustement pour positionner le joint selon les profils établis; bien que ces vis reprennent le poids du joint, ce dernier doit quand même être fixé aux armatures de la dalle afin d'en assurer la stabilité latérale. Il n'est pas rare que le joint de tablier soit fixé

à tous les 600 mm environ afin qu'il soit le plus stable possible. Il est recommandé de vérifier la stabilité du joint une fois fixé en sautant dessus; toute instabilité du joint doit être immédiatement corrigée en ajoutant des points de fixation supplémentaires.

Les vis d'ajustement du joint de tablier sont fixées sur des supports eux-mêmes soudés sous les plaques d'ancrage du joint. Les supports sont conçus pour recevoir les vis d'ajustement d'un côté ou l'autre des plaques d'ancrage, et ce, de façon à ce que les vis n'entrent pas en conflit avec les armatures longitudinales de la dalle. Le surveillant ne doit pas hésiter à faire déplacer les vis d'ajustement en cas de conflit. Une fois le joint de tablier en place, il est précisé dans les plans que la partie inutilisée des supports doit être enlevée afin de réduire les risques de vide sous ces supports lors du bétonnage.

L'entrepreneur procédera généralement en fixant un seul côté du joint. Lorsqu'il fixera progressivement l'autre côté du joint, il faut enlever, aussi de manière progressive, les cornières et les plaques d'assemblage temporaires retenant les deux parties du joint et couper le haut des vis d'ajustement comme indiqué dans les plans. Ces exigences du CCDG s'imposent, puisque, d'une part, chaque partie du joint se déplacera désormais au rythme du tablier auquel il est fixé et, d'autre part, pour éviter que les vis fassent saillie sur le béton de la dalle. Si ces assemblages temporaires ne sont pas enlevés à ce moment-ci, le joint va se déformer, ruinant les efforts déployés pour son positionnement. Beaucoup de surveillants répugnent à enlever ces assemblages à ce moment et préfèrent attendre la fin du bétonnage du joint pour s'exécuter, de peur de modifier encore plus son ajustement. Il est alors possible de seulement desserrer les boulons des cornières et des plaques temporaires sur au moins un des côtés. Leur enlèvement complet est alors effectué après le bétonnage de la dalle, mais avant la prise initiale du béton afin de finir adéquatement le béton sous ces assemblages.

La dernière étape de la mise en place d'un joint (remplacement d'un joint) concerne l'installation de coffrages pour les surfaces sous le joint. Dans le cas d'un joint de tablier avec dalot, les coffrages nécessaires doivent être mis en place par le dessous du tablier; l'entrepreneur doit s'assurer qu'ils peuvent être retirés une fois le béton durci surtout lorsque l'espace disponible est restreint. Une règle de bonne pratique consiste à mettre le coffrage en place par petites sections et à fixer à chacune d'elles une broche de façon à pouvoir tirer dessus lors du décoffrage. Il ne faut pas insérer de pièces de bois entre les profilés d'enclenchement de manière à tenir les coffrages puisque le tablier peut se déplacer, dans un sens ou l'autre, et ainsi surcomprimer ou créer un espace dans les coffrages. Dans les deux situations, cela causerait des mouvements du coffrage lors de la prise initiale du béton. Dans ce cas, il est possible que le bétonnage doive être repris, avec tous les problèmes que cette reprise peut engendrer.

Dans le cas du remplacement d'un joint, il arrive souvent que l'entrepreneur doive composer avec la présence de conduits des services publics situés dans les chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables ou glissières. L'entrepreneur doit alors travailler avec beaucoup de précautions pour éviter de les endommager et pour assurer la continuité des services; il doit redoubler de prudence lorsque des fils à haute tension sont

présents pour des raisons évidentes liées à la sécurité des ouvriers. L'entrepreneur doit reconstruire les sections de conduits démolis et mettre en place de façon adéquate les manchons nécessaires pour reprendre les mouvements de translation.

Joint d'assemblage

Dans le cas d'un joint mis en place par sections dans le cadre de travaux réalisés en phases, il est demandé au CCDG que la deuxième section et les suivantes s'il y a lieu soient ajustées à l'ouverture « J » mesurée sur la première section déjà en place. Cette exigence s'impose afin de réaliser adéquatement les joints d'assemblage.

Lorsque le joint de tablier à une garniture a des joints d'assemblage, ceux-ci sont boulonnés puis soudés pour assurer la meilleure étanchéité possible de l'assemblage. La soudure doit être exécutée par une entreprise de soudage (division 3) et un soudeur qualifié selon les exigences de l'article 15.7.4.1.1 « Certification de l'entreprise et qualification du personnel effectuant les soudures » du CCDG. La soudure doit être exécutée selon les modalités du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » du présent manuel. Elle doit être réalisée avec soin après s'être assuré que les profilés d'enclenchement sont alignés adéquatement tant selon la verticale que selon l'horizontale. Cette exigence s'impose afin de ne pas nuire à la pose de la garniture. Il faut utiliser une électrode relativement courte pour poursuivre la soudure le plus loin possible à l'intérieur des profilés d'enclenchement ; cette précaution est essentielle afin d'étancher au mieux les joints d'assemblage. La soudure est ensuite meulée à l'endroit où la garniture sera insérée pour éviter de la déchirer.

Dans le cas des joints de tablier à plus d'une garniture devant être assemblés bout-à-bout en chantier, les joints d'assemblage sont, soit boulonnés (fournisseur : Goodco-Z-Tech), soit soudés (fournisseur : LCL Ponts). Dans les deux cas, une soudure d'étanchéité doit être effectuée et il faut bien examiner les plans d'atelier pour s'assurer que les joints d'assemblage sont réalisés de façon adéquate. Mentionnons que, pour les joints soudés bout-à-bout en chantier, les soudures des poutres centrales et de rive doivent être exécutées par une entreprise de soudage (division 1 ou 2) et un soudeur qualifié, selon les exigences de l'article 15.7.4.1.1 « Certification de l'entreprise et qualification du personnel effectuant les soudures » du CCDG. De plus, compte tenu de la complexité de ces soudures, ces dernières devraient être réalisées sous la supervision immédiate d'un représentant du fabricant.

Vérifications à faire avant et pendant le bétonnage

Bien que le surveillant ait suivi attentivement chaque étape d'ajustement et de positionnement d'un joint de tablier, il est recommandé qu'il fasse d'ultimes vérifications immédiatement avant le bétonnage du joint, notamment en ce qui concerne les profils longitudinal et transversal du dessus du joint ainsi que la valeur et l'uniformité de l'ouverture entre les profilés d'enclenchement. Ces vérifications sont nécessaires, puisqu'il arrive assez souvent que les opérations de chantier subséquentes nuisent au positionnement du joint déjà réalisé. En cas de doute, il ne faut pas hésiter à remettre

en place les cordes ayant servi au positionnement du joint. Un surveillant ne sera jamais blâmé de vouloir faire ses vérifications avant le bétonnage plutôt qu'après. Mentionnons que les problèmes de positionnement les plus courants portent sur :

- le dessus des tubes HSS qui est à l'horizontale alors que le profil longitudinal ne l'est pas;
- le centre du joint, au droit des profilés d'enclenchement, qui a tendance à s'affaisser à cause d'une fixation insuffisante.

Dans les deux cas, cela entraîne de sérieux problèmes de confort et de sécurité pour les usagers de la route.

L'entrepreneur doit aussi veiller à boucher l'ouverture entre les profilés d'enclenchement afin que ni débris ni béton n'y pénètrent. Il serait en effet très difficile d'y déloger ce béton surtout si le joint de tablier est doté d'un dalot.

Dans le cas d'un joint de tablier à plus d'une garniture, l'entrepreneur doit obtenir l'approbation écrite du fabricant du joint, avant de procéder au bétonnage du joint ou d'une section de joint, confirmant que la mise en place du joint répond aux exigences.

Cette approbation doit être remise au surveillant. Cette façon de faire exceptionnelle est nécessaire compte tenu du coût très élevé de ce type de joint de tablier et des nombreuses précautions à prendre pour sa mise en place, notamment quant à une épaisseur minimale de 100 mm de béton sous chaque boîte de barres de support. Mentionnons que cette épaisseur minimale de béton est essentielle pour assurer un support suffisant au joint de tablier. Cependant, cette approbation ne vise que la géométrie des coffrages par rapport au joint, et non leur solidité, ni la mise en place des armatures.

Lors de la mise en place du béton sous le joint, il faut prendre soin d'apporter un minimum de vibrations entre chacune des plaques retenues et sous le HSS. En effet, le béton a du mal à s'étendre complètement sous le HSS et laisse parfois des bulles d'air relativement importantes. Ces dernières favorisent l'infiltration d'eau sous le HSS et devant le mur garde-grève. Il pourrait être requis de procéder à des injections localisées si des infiltrations étaient détectées lors de l'essai d'étanchéité.

Le bétonnage du joint est réalisé selon les exigences du chapitre 4 « Ouvrages en béton » du présent manuel, y compris la préparation des surfaces de béton à conserver. Le type de béton à employer est indiqué à l'article « Béton » du devis spécial. Dans le cas d'une dalle neuve, il doit être le même que celui utilisé pour la dalle.

<u>Vérifications à faire après la cure du béton</u>

Comme il est mentionné sur les plans, le coulis à couler à l'intérieur des tubes HSS doit être conforme à la norme 3901 du Ministère. Les coulis qui satisfont aux

exigences de la norme apparaissent à la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par la DCQM », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

Le coulis est mis en place à l'aide d'une pompe ou de façon gravitaire à l'aide d'un long entonnoir à partir du trou le plus bas du profil transversal jusqu'au point le plus haut; une fois un trou rempli de coulis, celui-ci est bouché avant de passer au trou suivant. Une façon simple de boucher les trous est de déposer un poids sur le dessus des profilés. Dans certains cas, l'utilisation de la pompe est obligatoire afin d'obtenir suffisamment de pression pour pouvoir acheminer le coulis jusqu'au point haut de l'épaulement. L'injection doit toujours se faire à partir du point bas, car le contraire risque d'amener des vides d'air qui ultimement conduiraient à une faiblesse de l'épaulement qui ne serait ainsi pas supporté par le coulis en cas d'impact.

Une fois la cure du béton terminée, l'entrepreneur doit enlever tous les coffrages, en bois ou sous forme d'isolant rigide, y compris tous ceux situés sous le joint de tablier. Le surveillant doit être très vigilant à cet égard, puisque ces matériaux constituent un obstacle au fonctionnement du joint. Il doit inspecter soigneusement l'espace libre entre les profilés d'enclenchement et faire enlever tout béton qui pourrait s'y trouver à la suite du bétonnage. De même, il doit inspecter l'espace libre entre le tablier et le garde-grève, ou entre les tabliers pour un joint de tablier à une pile, et faire enlever tout débris, tout béton ou tout coffrage qui pourraient s'y trouver. Ces précautions sont nécessaires afin que le fonctionnement du joint ne soit pas entravé.

La circulation de chantier est permise sur le joint dès que le béton a atteint une résistance à la compression d'au moins 70 % de f'c, tel que cela est stipulé à l'article 15.4.3.5.9 « Cure des éléments en béton coulés en place » du CCDG. Cette précaution est nécessaire pour ne pas endommager le joint.

Dans le cas d'un joint de tablier à plus d'une garniture, le surveillant doit s'assurer qu'il n'y a aucun vide sous les boîtes des barres de support. De plus, le surveillant doit inspecter soigneusement le dessous du joint afin de déceler toute présence de béton à l'intérieur de ces boîtes ou sur les barres de support transversales. S'il décèle de telles anomalies, l'entrepreneur devra communiquer avec le fabricant du joint et présenter une méthode de nettoyage. Il devra également s'efforcer de comprendre d'où provient ce béton.

Les profils transversal et longitudinal doivent être vérifiés attentivement et, le cas échéant, le surveillant ne doit pas hésiter à exiger la reprise des travaux si ceux-ci sont franchement mauvais au point de rendre la conduite inconfortable, voire dangereuse.

Pose de la garniture en élastomère

Avant de poser la garniture, il faut s'assurer que tout le béton et tous les débris qui auraient pu s'introduire entre les profilés d'enclenchement et dans le dalot s'il y a lieu soient enlevés.

La mise en place de la garniture est une étape délicate. Le surveillant doit veiller à ce que la méthode de pose ainsi que les outils servant à poser la garniture en élastomère

aient été recommandés par le fabricant du joint. Si ce n'est pas le cas, il doit s'informer auprès de l'entrepreneur des raisons pouvant justifier cette non-conformité. Précisons que, si le devis spécial exige que la mise en place de la garniture se fasse par le fabricant du joint, la pose ne peut pas être faite par l'entrepreneur, même si le fabricant l'autorise.

La garniture doit être posée sur toute la longueur du joint de tablier en une seule opération et après le bétonnage du joint. Ces exigences du CCDG s'imposent afin de ne pas endommager la garniture lors des opérations de bétonnage et, pour les travaux réalisés en plus d'une phase, pour ne pas avoir de joint dans la garniture, puisqu'il est impossible d'étancher de façon durable deux sections de garniture. La pratique consistant à mettre en place la garniture dès la fin d'une phase des travaux est à proscrire, car le rouleau de garniture restant sera alors soumis aux aléas des travaux de la phase suivante avec tous les problèmes de manque d'étanchéité qui s'ensuivent en raison du bris possible de la garniture.

La pose de la garniture doit être effectuée à l'aide d'outils appropriés recommandés par le fabricant du joint. Cette exigence du CCDG est importante pour éviter d'endommager la garniture. De plus, un lubrifiant doit être utilisé pour faciliter la mise en place de la garniture; ce lubrifiant doit être identifié dans la procédure d'installation des plans d'atelier.

La garniture est généralement posée par l'entrepreneur général, sauf dans les cas d'un pont avec un trottoir, une piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle ou d'un joint à plus d'une garniture, comme cela est exigé dans le CCDG; dans ces cas, la garniture est mise en place par le fournisseur du joint de tablier. Cette exigence s'impose compte tenu de la difficulté particulière associée à ces situations. Outre ces cas, il peut arriver que l'entrepreneur demande au fabricant du joint de poser la garniture s'il estime ne pas être en mesure de le faire lui-même comme dans le cas de la traversée d'une bande médiane.

La garniture ne peut être mise en place si l'espace libre au moment de la pose est inférieure à 40 mm (50 mm pour les joints fournis par LCL Ponts). Puisque cette distance est un minimum absolu pour poser adéquatement la garniture, il faut attendre une baisse suffisante de la température avant de procéder. Une ouverture de 40 mm à 15 °C pour les dalles neuves est indiquée dans le tableau « Température – Ouverture » des plans d'atelier, car pour ces projets, il est possible d'attendre au besoin quelques semaines pour avoir une température inférieure à 15 °C. Par contre, dans le cas du remplacement d'un joint de tablier, il est possible que l'ouverture de 40 mm soit fixée pour une température de 25 °C si le concepteur a estimé, lors de la préparation des plans et devis, que la garniture devait être posée en période estivale. Cela s'applique surtout pour des projets de faible envergure où il serait fâcheux de ne pas pouvoir achever le contrat immédiatement à cause de la température.

Une attention particulière doit être prêtée à la pose de la garniture au pied des chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle ou glissières ainsi qu'aux joints d'assemblage des joints de tablier, puisque ces endroits sont plus

sujets aux fuites que les autres, à plus forte raison que c'est à ces endroits qu'il y a le plus d'accumulation d'eau de ruissellement.

Si la garniture est déchirée lors de la pose, elle doit être enlevée sur toute la longueur du joint de tablier et rejetée (aucune réparation de la garniture endommagée ne doit être acceptée). Une nouvelle garniture doit être mise en place sur toute la longueur du joint.

Le CCDG exige la pose de garnitures temporaires lors de travaux en phases, pour tous les types de joints, lorsque des phases de travaux doivent être ouvertes à la circulation pendant la saison hivernale, et ce, afin d'éviter que de l'eau contaminée et chargée de débris ne se déverse sur les éléments sous ce joint.

Essai d'étanchéité

La toute dernière étape concernant la mise en place d'un joint de tablier consiste à tester son étanchéité. Cet essai doit être réalisé pour tous les joints, y compris ceux avec dalot. Cette étape est très importante, puisque l'étanchéité d'un joint constitue un objectif primordial pour optimiser les sommes investies sur une structure. Le surveillant se doit d'être vigilant à cet égard, car il n'est pas rare qu'un manque d'étanchéité soit constaté.

En plus d'exiger que le joint soit étanche, il est indiqué au CCDG la façon d'effectuer l'essai d'étanchéité. Cet essai, très simple à réaliser, consiste à employer un jet d'eau de 20 mm de diamètre ayant une pression de 700 kPa, soit une pression équivalente à celle fournie par n'importe quel système d'aqueduc. Le jet d'eau doit être maintenu pendant au moins 30 minutes en insistant surtout aux endroits les plus vulnérables, soit aux points bas du profil transversal et aux joints d'assemblage du joint de tablier.

Avant de procéder à l'essai d'étanchéité, le surveillant doit veiller à ce qu'une personne supplémentaire de son entourage soit désignée pour vérifier la présence ou non de fuites d'eau sous le joint de tablier. Cette personne additionnelle est indispensable, car le surveillant ne peut pas à la fois être au-dessus du tablier et sous le joint. Mentionnons que le CCDG demande que l'entrepreneur fournisse l'accès à l'assise de l'unité de fondation située sous le joint lors de l'essai. Il faut prêter attention afin d'être en mesure de déceler la moindre fuite autant au niveau de la garniture en élastomère que sous les tubes HSS, l'utilisation d'une lampe de poche est essentielle pour mener à bien ce travail. En cas de doute, il est possible d'ajouter à l'eau un colorant alimentaire, rouge de préférence, pour mieux visualiser les fuites.

Dans le cas d'un joint avec dalot, il est plus difficile de localiser les fuites à cause de la présence du dalot. Il faut alors regarder sous le joint à chaque extrémité du dalot et évaluer la localisation des fuites. La méthode la plus simple, tout en portant un gant, est d'insérer les doigts dans le dalot en partant du point haut et de descendre jusqu'au bout du dalot en prenant soin de vérifier fréquemment si le bout du gant est humide. Cela indiquera la zone potentielle de l'infiltration.

En plus d'examiner les fuites de la garniture elle-même, il faut vérifier qu'il n'y a pas d'infiltration venant de sous le HSS. Si une infiltration d'eau est observée sous le HSS, c'est signe que l'eau de la surface migre sous le HSS par des bulles d'air entre le HSS et le béton de la dalle. Une mauvaise vibration du béton lors de la mise en place du joint ou une mauvaise injection du coulis dans le HSS sont les causes les plus fréquentes de ce type de fuites. Si elles sont constatées, ces infiltrations d'eau doivent être comblées le plus possible par injection d'époxy sous le joint.

Le devis spécial peut aussi exiger qu'un essai d'étanchéité soit effectué à l'aide d'un bassin de rétention de type barrage. Ce dernier doit être réalisé à l'aide de coffrage ou de sacs de sable. Un cordon de butyle ou autre doit être utilisé afin d'assurer l'étanchéité du bassin. Il est interdit de clouer ou de visser dans le pavage ou le béton. Un minimum de 100 mm d'eau doit être conservé au point haut, ce qui peut représenter un niveau d'eau relativement important au point bas, soit près des chasse-roues ou des trottoirs.

Tout joint de tablier non étanche doit être réparé et subir un nouvel essai d'étanchéité. Les réparations consistent généralement à remettre en place une garniture mal enclenchée sur une très petite longueur. Si les fuites sont généralisées, il peut être plus avantageux d'enlever la garniture et de reprendre sa mise en place avec plus de précaution.

Il peut arriver que les réparations soient de plus d'envergure. L'entrepreneur doit alors injecter les fuites afin de colmater les fissures dans le béton ou le manque d'adhérence entre le béton et les pièces métalliques du joint. L'entrepreneur ne doit pas hésiter à faire appel au fournisseur du joint de tablier s'il n'est pas en mesure de détecter l'origine d'une fuite ou s'il a de la difficulté à étancher le joint. Le fournisseur est souvent en mesure, grâce à sa grande expérience dans ce domaine, d'aider efficacement l'entrepreneur.

Il est fortement recommandé que le surveillant fasse une vérification in situ de l'étanchéité d'un joint de tablier nouvellement posé immédiatement après une période prolongée de pluie pour constater une dernière fois son étanchéité avant de libérer l'entrepreneur de ses obligations.

Dans le cas d'un joint de tablier à plus d'une garniture, il ne faut pas oublier de remettre en place les plaques couvre-joints une fois l'essai d'étanchéité terminé.

9.3 DISPOSITIFS DE RETENUE EN ACIER

Les dispositifs de retenue sur les structures ont pour fonction de prévenir la chute d'un véhicule, d'un cycliste ou d'un piéton à l'extérieur de la structure. En raison de leur rôle concernant la sécurité des usagers, leur construction revêt donc un aspect important lors de la construction d'une structure. Outre ce rôle associé à la sécurité, il ne faut pas négliger l'aspect esthétique des dispositifs de retenue, puisque c'est la partie de la structure qui est la plus remarquée par les usagers.

Les parties en béton des dispositifs de retenue sont traitées au chapitre 4 « Ouvrages en béton » du présent manuel.

9.3.1 Documents requis et exigences de conception

Les plans d'atelier des dispositifs de retenue en acier doivent être remis au surveillant par l'entrepreneur. Bien que les plans d'atelier reproduisent presque intégralement les plans de soumission, il ne faut pas se surprendre, pour les structures existantes, qu'il y ait des différences entre ces plans, puisque le fournisseur se rend généralement sur le site pour vérifier l'exactitude des cotes des plans de soumission. Une des erreurs décelées couramment concerne le calcul de la répartition des espacements entre les poteaux en acier. Dans le cas d'une structure ayant un profil longitudinal prononcé, c'est-à-dire au-delà de 2 %, les plans d'atelier doivent prévoir l'installation des poteaux positionnés selon la verticale.

Approbation des documents

Les plans d'atelier doivent être signés et scellés par un ingénieur, sauf si les plans sont une copie sans aucune modification des documents de soumission. De façon usuelle, les plans d'atelier des dispositifs de retenue standards n'auront pas à être signés ni scellés par un ingénieur, car tous les détails nécessaires à leur fabrication se trouvent sur les plans de conception. Cela est aussi acceptable dans le cas des glissières devant être installées sur des ouvrages ayant des pentes longitudinales supérieures à 2 %, puisque toute l'information est également présente sur les plans de conception.

L'entrepreneur doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG pour la remise de ces documents, y compris le délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour les étudier.

Le surveillant doit viser les plans d'atelier; une copie visée des plans doit être ensuite transmise au concepteur pour information. Le surveillant peut demander au concepteur de viser les plans s'il ne se sent pas à l'aise pour les viser lui-même. Dans ce cas, le concepteur retourne les plans visés au surveillant. La fabrication des dispositifs de retenue ne peut pas commencer avant que ces plans visés n'aient été retournés à l'entrepreneur.

Le visa est un acte par lequel le surveillant reconnaît que les plans sont conformes dans ses grandes lignes aux documents contractuels; l'entrepreneur conserve cependant l'entière responsabilité de l'exactitude des détails, des dimensions et des quantités. Le surveillant doit tout de même s'assurer de l'exactitude de certaines données de base comme la conformité des matériaux utilisés, notamment ceux des tiges d'ancrage, l'espacement des poteaux et les dimensions des différentes pièces.

La figure 7.1-1 du chapitre 7 « Ouvrage en acier et en aluminium » du présent manuel montre l'estampe type utilisée à titre de visa.

9.3.2 Matériaux

La conformité des matériaux utilisés est généralement vérifiée en usine par le personnel de la DCQM, ou par l'un de ses prestataires de services, lorsque le contrat fait l'objet d'un suivi en usine.

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*.

9.3.3 Fabrication

La fabrication est vérifiée en usine par le personnel de la DCQM, ou par l'un de ses prestataires de services, lorsque le contrat fait l'objet d'un suivi en usine. Si ce n'est pas le cas, le surveillant n'a pas à faire ce suivi, puisqu'il lui est toujours possible de vérifier la qualité de la fabrication lors de la livraison des pièces en acier au chantier.

9.3.4 Mise en œuvre

Réception des dispositifs de retenue

Dès la réception des dispositifs de retenue au chantier, le surveillant doit s'assurer qu'ils sont entreposés dans un endroit en retrait de façon à ce qu'ils ne soient pas endommagés lors des opérations de chantier. Il doit aussi veiller à ce qu'ils soient déposés à plat sur des supports suffisamment rapprochés, afin d'éviter leur gauchissement. Mentionnons qu'il faut prendre les précautions nécessaires pour éviter la formation de rouille blanche. Cette dernière est un produit très friable provenant de la corrosion du zinc et elle se traduit par une diminution de la durée de vie de la galvanisation et par un impact majeur sur l'esthétique de la structure. Les pièces nouvellement galvanisées doivent être exposées à l'oxygène afin que puisse se former la couche d'oxyde de zinc protectrice. La rouille blanche apparaît lorsque les pièces en acier fraîchement galvanisées sont conservées dans un environnement humide de façon prolongée, par exemple en étant accolées les unes contre les autres. Il faut s'assurer qu'il n'y a pas d'accumulation d'eau et qu'il y a un espace suffisant entre les pièces pour que l'air puisse y circuler librement. Le surveillant ne doit pas hésiter à intervenir auprès de l'entrepreneur si les conditions de déchargement et d'entreposage ne sont pas satisfaisantes.

Le surveillant doit aussi s'assurer dès la livraison des dispositifs de retenue que ceux-ci sont conformes aux plans d'atelier visés. Il doit vérifier, lorsque cela est requis dans les plans d'atelier, que les poteaux sont coupés à angle à leurs extrémités afin qu'ils soient installés à la verticale.

Le surveillant vérifie aussi les différentes pièces à leur arrivée au chantier et s'assure qu'elles n'ont pas été endommagées pendant le transport ou la manutention. Les défauts les plus courants sont la présence d'une entaille, d'une déformation localisée ou générale, ou d'une altération du revêtement anticorrosion. Le surveillant doit se référer au chapitre 14 « Galvanisation, métallisation et peinturage » du présent manuel pour les exigences concernant la réception de la galvanisation des pièces en acier, notamment

en ce qui concerne l'épaisseur de la couche de zinc (87 μm minimum) et des corrections à apporter aux pièces dont le revêtement a été endommagé. Mentionnons que l'épaisseur de galvanisation des tubes des dispositifs de retenue, des drains, des joints de tablier et autres équipements est de 75 μm minimum compte tenu des problèmes à obtenir l'épaisseur de 87 μm en raison du type d'alliage de ces éléments.

Le surveillant vérifie que la manutention des pièces au chantier est faite de façon adéquate. Une bonne pratique consiste à utiliser des élingues non métalliques ou tout autre système afin d'éviter le contact entre un composant métallique d'un équipement de manutention et les pièces en acier.

Mentionnons que le surveillant ne doit pas se fier entièrement au suivi effectué en usine par la DCQM, puisque celui-ci porte principalement sur les méthodes de travail du fournisseur. En cas de doute, le surveillant doit consulter la DCQM, notamment en ce qui a trait aux soudures et à la galvanisation.

Toute anomalie doit être immédiatement signalée à l'entrepreneur afin que les corrections soient apportées rapidement de façon à ne pas retarder indûment les travaux. Le surveillant doit informer le concepteur de la nature de ces corrections.

Vérifications à faire avant la mise en place d'un dispositif de retenue

Les travaux relatifs à la mise en place d'un dispositif de retenue sont généralement exécutés par l'entrepreneur général. Une rencontre préalable à ces travaux regroupant tous les intervenants, au cours d'une réunion de chantier, par exemple, doit être organisée afin que les exigences du Ministère (du CCDG ainsi que des plans et devis) et les particularités du projet soient bien comprises.

Bien que la pose des tiges d'ancrage pour les poteaux en acier soit traitée au chapitre 4 « Ouvrages en béton » du présent manuel, il n'est pas sans intérêt de rappeler que la position et l'espacement de ces tiges d'ancrage doivent être soigneusement vérifiés avant de procéder à la mise en place des poteaux. Même si un petit écart peut être repris par le jeu des pièces, le surveillant doit exiger le retour de certaines pièces à l'usine pour corrections lorsque les anomalies sont trop importantes.

Il n'y a pas de tolérances établies au CCDG ou au devis concernant la pose des ancrages. L'entrepreneur a cependant une obligation de résultat par rapport aux travaux et il va sans dire que les poteaux de la glissière devront pouvoir être insérés dans les ancrages mis en place. C'est donc dire que la précision dans la mise en place des ancrages est de la plus haute importance.

Précisons que les problèmes d'alignement et de projection insuffisante des tiges d'ancrages sont les obstacles les plus fréquemment rencontrés lors de la pose des glissières; le surveillant doit donc porter une attention particulière à ces points.

Le surveillant doit consulter le concepteur si la partie hors béton d'une ou de plusieurs tiges d'ancrage est inférieure à l'épaisseur de la plaque d'ancrage des poteaux et de celle des rondelles et écrous à mettre en place, ou si les tiges ne sont pas positionnées perpendiculairement au profil longitudinal du tablier. Le problème ne devrait pas se présenter si la mise en place des tiges d'ancrage des poteaux a été faite adéquatement. La marge de manœuvre est, par contre, très mince à ce stade-ci des travaux si on doit apporter les correctifs nécessaires. La reconstruction sur une courte distance, sur toute la hauteur du chasse-roue (ou sur la hauteur des tiges d'ancrage pour une glissière), représente souvent la seule solution de rechange possible.

Dans le cas d'ancrages n'ayant pas suffisamment de projection pour être en mesure d'être boulonnés, les entrepreneurs proposent à l'occasion l'utilisation d'un manchon spécial de type Élocone. Le surveillant peut communiquer avec la DCQM afin d'obtenir certaines informations sur leur utilisation. La première étape pour l'utilisation de ce produit est l'élargissement des trous dans la plaque de base du poteau. Après avoir remis le poteau en place, il convient de boulonner le manchon spécial dans la partie filetée de l'ancrage qui se trouve à l'intérieur de l'épaisseur de la plaque de base. Notons qu'il doit y avoir un minimum de filets disponibles. Les documents techniques du fabricant mentionnent qu'il faut au minimum une longueur de filets équivalente au diamètre de la tige.

L'assise en béton doit être parfaitement horizontale selon l'axe transversal de la structure afin que l'alignement du dispositif de retenue soit rectiligne pour préserver l'esthétique de l'ouvrage. Mentionnons que la pente longitudinale de l'assise en béton doit être la même que celles des surfaces de béton environnantes. Dans le cas où les poteaux doivent être verticaux selon cet axe, les poteaux sont fabriqués pour reprendre la différence de pente.

De plus, le surveillant doit exiger le meulage des aspérités et le remplissage des cavités du béton des assises au moyen de mortier cimentaire afin que la plaque d'ancrage des poteaux soit supportée uniformément.

Un problème persistant de nivellement du béton de chasse-roue, de trottoir ou de piste cyclable sous les poteaux en acier des dispositifs de retenue a fait l'objet d'étude récemment. Ce problème origine essentiellement de la difficulté à finir le béton de façon adéquate sous les gabarits servant à retenir les ancrages dans le béton frais.

Bien que les pratiques aient été améliorées au cours des dernières années, notamment en faisant une ouverture au centre du gabarit (pour faciliter la mise en place du béton et son inspection visuelle) et en utilisant un vibrateur de petite dimension dans cette ouverture, il arrive encore trop souvent qu'un manque d'attention lors de la mise en place des gabarits ou du béton lui-même entraîne une assise de poteau non conforme. Cette non-conformité peut conduire à une faiblesse structurale du dispositif de retenue (surface d'appui non uniforme), à une apparence douteuse ou à un manque de durabilité.

Le surveillant est invité à lire certaines parties du chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel pour se rafraîchir la mémoire quant aux précautions à prendre lors du bétonnage des chasse-roues, des trottoirs ou des pistes cyclables afin d'éviter des problèmes de mise en place du dispositif de retenue.

S'il arrivait tout de même que le niveau du dessus d'une assise de poteau soit trop bas (en partie ou en totalité) par rapport à ce qui est demandé aux plans, la correction au moyen de poudre de ciment (type GU ou autre) ou par injection peut être envisagée.

La correction au moyen de poudre de ciment, qui ne nécessite pas de cure et réalisable par temps froid, est déjà utilisée avec succès depuis plusieurs années. Celle-ci consiste à :

- s'assurer que la dénivellation entre le dessus de l'assise tel que bétonné et le niveau théorique du dessous du poteau à mettre en place ne dépasse pas 5 mm en un point quelconque sur le périmètre extérieur de la plaque de base du poteau. La façon de faire pour mesurer cette dénivellation peut être faite au moyen de cordes tendues entre deux poteaux nivelés correctement; pour une structure en courbe ou ayant un profil longitudinal non rectiligne, l'utilisation d'un niveau d'arpentage est nécessaire;
- épandre de la poudre de ciment sèche sur l'assise;
- mettre en place le poteau;
- procéder au serrage à fond (avec une clef d'une longueur d'au moins 400 mm) des tiges d'ancrage (l'utilisation de rondelles en acier galvanisé sous le poteau peut être nécessaire dans certaines circonstances; cette pratique est acceptable pourvu que les rondelles soient en retrait d'au moins 25 mm du bord de la plaque de base du poteau);
- enlever le surplus de poudre de ciment débordant du périmètre de la plaque de base du poteau.

Si la dénivellation, entre le dessus de l'assise tel que bétonné et le niveau théorique du dessous du poteau à mettre en place, dépasse, en un point quelconque, 5 mm sur une distance de 25 mm à partir du périmètre extérieur de la plaque de base du poteau, il ne faut pas utiliser de la poudre de ciment comme méthode de correction; il faut plutôt envisager la reconstruction du béton de l'assise sur une profondeur d'au moins 135 mm (c'est-à-dire 25 mm sous les barres longitudinales du haut de l'élément) selon les indications du concepteur. Ces travaux de reconstruction doivent toutefois respecter les principes de base d'une réparation avec coffrages sans surépaisseur.

Ces travaux de correction, que ce soit un ajout de poudre de ciment ou une reconstruction de l'assise, font suite à un constat du surveillant et sont gérés selon l'article 7.10 «Travaux défectueux» du CCDG.

Mise en place d'un dispositif de retenue

La manutention des différentes pièces en acier du dispositif de retenue doit se faire avec soin pour éviter leur gauchissement et l'endommagement de la galvanisation. La mise en place des lisses est normalement réalisée à l'aide de machinerie.

Le serrage des boulons reliant les lisses aux poteaux ne doit pas se faire selon les exigences de l'article 15.9.3.4 « Mise en œuvre » du CCDG. Le serrage dit à « fond » est fait simplement avec une clef à mâchoire d'une longueur d'environ 400 mm et, sans déformer les profilés.

Dans le cas de la glissière de type 210, les trous ovalisés dans les poteaux et surdimensionnés dans les lisses facilitent l'ajustement en hauteur selon les indications des plans. Une fois la lisse du bas installée et ajustée, il est possible d'utiliser un gabarit pour procéder à l'ajustement des autres lisses. Les boulons reliant les lisses au poteau sont des boulons à tête ronde (ASTM A449) laquelle tête est située du côté de la circulation automobile afin de réduire le plus possible les aspérités.

Dans le cas des tiges d'ancrage des dispositifs de retenue en acier, le serrage des écrous doit se faire selon les exigences de l'article 15.9.3.4 « Mise en œuvre » du CCDG, c'est-à-dire « à fond » avec une clé à mâchoire d'une longueur d'environ 400 mm.

Vérifications à faire après la mise en place d'un dispositif de retenue

Une fois les dispositifs de retenue en place, le surveillant doit faire un certain nombre de vérifications de façon à s'assurer qu'ils sont posés conformément aux plans. Il doit notamment vérifier que :

- les poteaux et les barreaux des glissières sont perpendiculaires au profil longitudinal du chasse-roue, du trottoir ou de la piste cyclable lorsque la pente de ce profil est inférieure à 2 %. Toutefois, au-delà de 2 %, la perception de la pente par les usagers est plus prononcée, d'où les exigences du CCDG pour que ces éléments soient posés à la verticale. Dans le cas d'un pont dont le profil longitudinal est parabolique, cette exigence s'applique, mais la pente considérée est la pente locale de chacun des poteaux (voir la figure 9.3-1). Les poteaux seront donc légèrement inclinés au sommet de la parabole, jusqu'à atteindre 2 % et ensuite repositionnés verticalement;
- le serrage de tous les boulons est conforme aux exigences;
- les plaques d'ancrage des poteaux doivent reposer entièrement sur le béton (ou sur de la poudre de ciment comme mentionné précédemment);
- les manchons des lisses pour joint de tablier sont situés entre les poteaux se trouvant de part et d'autre des joints de tablier ou des joints dalle sur culée. La localisation de ces manchons, qui reprennent le mouvement du ou des tabliers, est importante si on veut éviter d'endommager le dispositif de retenue;

- les pellicules rétroréfléchissantes des poteaux en acier doivent être posées au niveau indiqué dans les plans, de manière à ce que le profil établi par les pellicules soit parallèle au profil du tablier de la structure tout en maintenant la continuité avec celles installées sur les poteaux des glissières de sécurité situés aux approches. Les pellicules mal installées doivent donc être remplacées par de nouvelles installées selon les exigences du CCDG;
- le bout plat, nécessaire au raccordement du dispositif de retenue à la glissière de sécurité de l'approche de la structure, est en place à chaque extrémité de la structure.

Précisons que le raccordement de la glissière de sécurité des approches à l'extrémité du dispositif de retenue de la structure doit se faire selon les modalités du chapitre 3 « Glissières de sécurité – Conception et construction » du *Tome VIII – Dispositifs de retenue* des normes du Ministère. Puisqu'il peut y avoir des problèmes quant à la hauteur de la glissière des approches lorsque celle-ci est raccordée à des dispositifs existants, le surveillant doit notamment s'assurer que la glissière aux approches ne varie pas de plus de 75 mm (en plus ou en moins) par rapport à la hauteur normale d'installation de 710 mm. Cette tolérance verticale d'installation doit être reprise sur au moins une longueur de lisses en tôle d'acier ondulée. Lorsque cette tolérance verticale n'est pas respectée, il faut modifier les profils des approches ou celui de la glissière de façon à ramener la valeur sous les 75 mm.

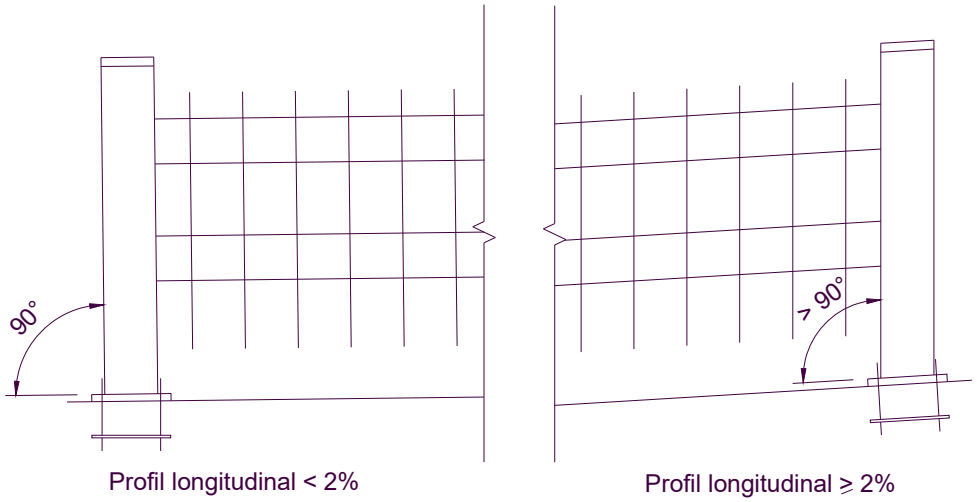


Figure 9.3-1 Positionnement des éléments d'une glissière en acier

9.4 DRAINS EN ACIER

Les drains permettent d'évacuer l'eau de surface d'une structure. Ces équipements sont essentiels pour réduire le plus possible les dommages associés à un mauvais drainage.

Les drains sont dotés d'une grille à leur partie supérieure pour des raisons de sécurité et de trous à l'interface « pavage – membrane d'étanchéité » pour évacuer l'eau qui s'infiltre au travers du pavage ou à l'interface « chasse-roue – pavage ». De plus, ces trous permettent d'évacuer l'eau de surface lorsque l'enrobé à chaud n'est pas encore mis en place. Mentionnons que les drains sont munis de vis d'ajustement qui permettent de les positionner adéquatement lors de la construction d'une nouvelle dalle.

Les drains d'interface servent à drainer l'interface « pavage – membrane d'étanchéité » à proximité d'un joint de tablier afin d'éviter l'accumulation d'eau près de l'épaulement du joint situé du côté amont du profil longitudinal de la structure.

Documents requis

Les plans d'atelier des drains doivent être remis au surveillant par l'entrepreneur.

L'entrepreneur doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG pour la remise de ces documents, y compris le délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour les étudier.

Le surveillant doit viser les plans d'atelier. Une copie visée des plans doit être ensuite transmise au concepteur pour information. Le surveillant peut demander au concepteur de viser les plans s'il ne se sent pas à l'aise pour les viser lui-même. Dans ce cas, le concepteur retourne les plans visés au surveillant. La fabrication des drains ne peut pas débuter avant que ces plans visés n'aient été retournés à l'entrepreneur.

Le visa est un acte par lequel le surveillant reconnaît que les plans sont conformes dans ses grandes lignes aux documents contractuels; l'entrepreneur conserve cependant l'entière responsabilité de l'exactitude des détails, des dimensions et des quantités. Le surveillant doit tout de même s'assurer de l'exactitude de certaines données de base comme la conformité des matériaux utilisés, notamment ceux des tiges filetées, et la longueur des drains. Cette dernière doit être égale à l'épaisseur du tablier plus 180 mm, soit 30 mm au-dessus des surfaces de béton du tablier et 150 mm au-dessous du tablier. Dans le cas où la poutre de rive interfère avec l'installation à la verticale des drains au pied du chasse-roue, le surveillant doit aussi s'assurer que les plans d'atelier en font mention. Si ce détail n'était pas déjà dans les plans de soumission, le surveillant devrait en faire part au concepteur et attendre ses instructions sur les modifications à apporter aux plans d'atelier.

La figure 7.1-1 du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » du présent manuel montre l'estampe type utilisée à titre de visa.

Matériaux et fabrication

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*.

La conformité des matériaux utilisés et de la fabrication sont généralement vérifiées en usine par le personnel de la DCQM, ou par l'un de ses prestataires de services, lorsque le contrat fait l'objet d'un suivi en usine.

Si ce n'est pas le cas, le surveillant n'a pas à faire ce suivi, puisque les fabricants sont généralement des entreprises spécialisées dans le domaine, et qu'il lui est toujours possible de vérifier la qualité de la fabrication lors de la livraison des éléments au chantier.

Mise en place des drains et des drains d'interface

Dès la réception des drains au chantier, le surveillant doit veiller à ce qu'ils soient entreposés dans un endroit en retrait de façon à ce qu'ils ne soient pas endommagés lors des opérations de chantier. Il doit aussi s'assurer qu'ils sont déposés à plat sur des supports suffisamment rapprochés, afin d'éviter leur gauchissement. Mentionnons qu'il faut prendre les précautions nécessaires pour éviter la formation de rouille blanche. Cette dernière est un produit très friable provenant de la corrosion du zinc et elle se traduit par une diminution de la durée de vie de la galvanisation. Puisque la rouille blanche apparaît surtout lorsque les pièces en acier galvanisées sont accolées les unes contre les autres, ce qui favorise la rétention d'eau par capillarité, il faut s'assurer qu'il y ait un espace suffisant entre les pièces pour que l'air puisse y circuler librement. Le surveillant ne doit pas hésiter à intervenir auprès de l'entrepreneur si les conditions de déchargement et d'entreposage ne sont pas satisfaisantes.

Le surveillant doit se référer au chapitre 14 « Galvanisation, métallisation et peinturage » du présent manuel pour les exigences concernant la réception de la galvanisation des pièces en acier, notamment en ce qui concerne l'épaisseur de la couche de zinc (75 μm minimum) et des corrections à apporter aux pièces dont le revêtement a été endommagé.

Le surveillant doit aussi s'assurer dès la livraison des drains que ceux-ci sont conformes aux plans d'atelier visés, notamment en ce qui concerne leur longueur et la présence de deux trous par face dans leur partie supérieure. En cas de doute, le surveillant doit consulter la DCQM (via le chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services), notamment en ce qui a trait aux soudures et à la galvanisation.

Toute anomalie doit être immédiatement signalée à l'entrepreneur afin que les corrections soient apportées rapidement de façon à ne pas retarder indûment les travaux. Le surveillant doit informer le concepteur de la nature de ces corrections.

La manutention des drains doit se faire avec soin pour éviter leur gauchissement et l'endommagement de la galvanisation. La mise en place des drains est normalement réalisée à l'aide de machinerie.

Le surveillant peut se reporter au chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel pour plus d'information au sujet de la mise en place des drains lors de la construction d'une nouvelle dalle. Mentionnons que les drains sont généralement installés selon la verticale, sauf dans le cas où ils interfèrent avec une poutre. Dans ce dernier cas, le surveillant doit s'assurer que le dessus du drain est selon l'horizontale et qu'il permettra de conserver une épaisseur minimale de 30 mm d'enrobé à chaud près des drains.

Les drains d'interface, qui servent à évacuer l'eau qui pourrait se retrouver à l'interface « pavage – membrane d'étanchéité », sont localisés tout près d'un joint de tablier mis en place à la culée galerie d'un tablier neuf située au point bas du profil longitudinal. Ces drains sont utilisés parce qu'il n'est pas possible d'installer des drains conventionnels à cet endroit; en effet, l'écoulement de l'eau pourrait endommager l'unité de fondation, ce qui n'est pas le cas des faibles quantités d'eau s'écoulant des drains d'interface. Les drains d'interface sont mis en place en même temps que le joint de tablier adjacent. Mentionnons que la forme pyramidale du drain d'interface est nécessaire pour accélérer le dégel du drain au printemps.

Lorsque des descentes de drainage sont prévues et qu'elles ne peuvent pas être mises en place avant la période hivernale en raison des phases de travaux, le CCDG exige que des descentes de drainage temporaires soient prévues par l'entrepreneur afin d'éviter la contamination du reste de l'ouvrage.

Drains sur une structure existante

Les activités relatives aux drains d'une structure existante concernent l'élimination de drains souvent trop nombreux sur une structure, le remplacement de drains existants ou l'ajout de nouveaux drains aux points bas du profil longitudinal du tablier. Mentionnons aussi le cas du rallongement des drains afin qu'ils n'endommagent plus le bas du tablier.

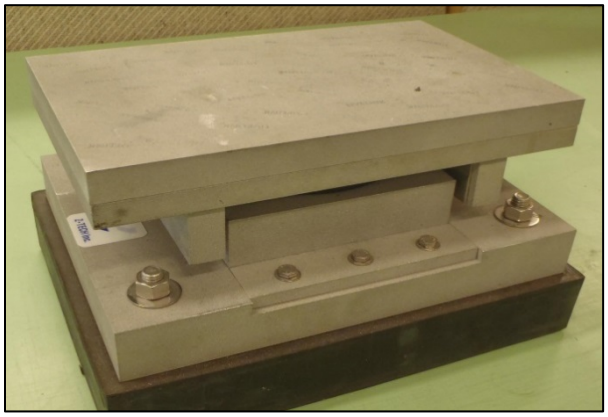
Il ne faut pas couper les armatures de la dalle ou du tablier lors de l'élimination d'un drain. L'installation de nouveaux drains se fait aux endroits indiqués dans les plans ou à ceux indiqués sur place par le surveillant; il peut donc arriver que, pour améliorer le drainage du tablier, les nouveaux drains ne soient pas tous localisés aux mêmes endroits que les drains existants. Dans ce cas, l'entrepreneur doit démolir le béton et couper quelques barres d'armature pour permettre l'installation des drains. Il est très important de souligner que le surveillant doit consulter le concepteur avant d'autoriser l'entrepreneur à couper des barres d'armature, car il peut arriver que ces derniers fassent partie du système structural du tablier.

Une fois les drains installés, il faut s'assurer que le point de décharge de chacun soit aménagé de façon à ne pas éroder le remblai sous la structure; une protection au moyen d'un géotextile recouvert de pierres est le moyen le plus utilisé pour protéger le remblai. Il faut aussi éviter, en milieu urbain, que les drains se déversent sur la chaussée située sous la structure. Il faut alors soit déplacer le drain, soit installer une conduite d'évacuation sous le drain.

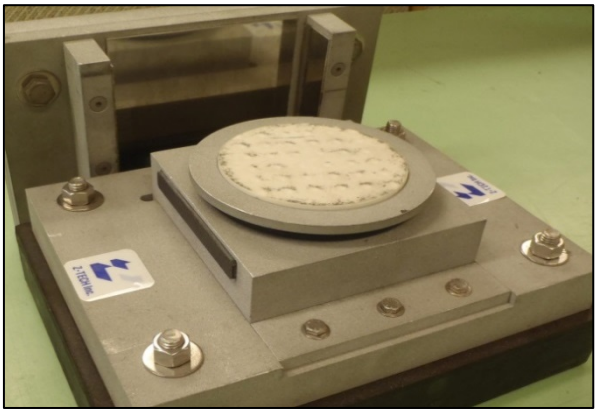
Le rallongement des drains se fait généralement par l'ajout d'une section de tube sous les drains existants. Cette section de tube a habituellement un diamètre légèrement plus grand que les drains à rallonger afin de réduire le plus possible les fuites au droit du raccordement.

PHOTOGRAPHIES

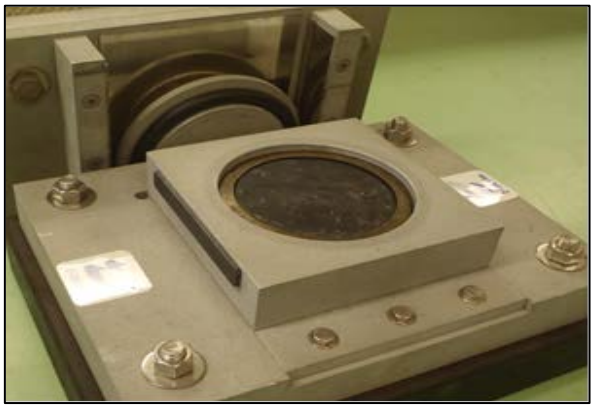
ÉQUIPEMENTS



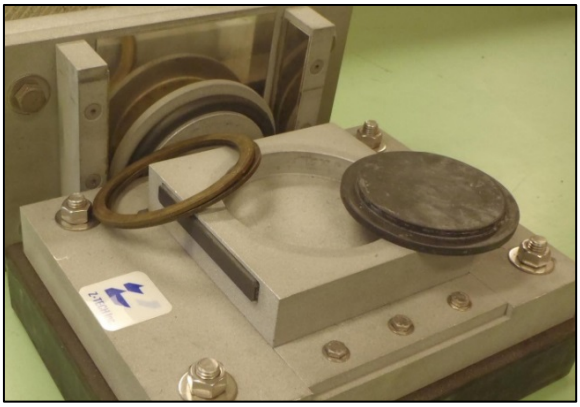
Appareil d'appui à élastomère confiné guidé (fermé)



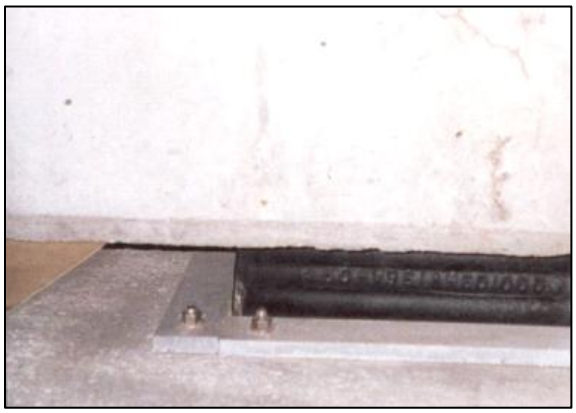
Appareil d'appui à élastomère confiné guidé et plaque de glissement



Appareil d'appui à élastomère confiné guidé et disque d'élastomère en position



Appareil d'appui à élastomère confiné guidé et disque d'élastomère enlevé



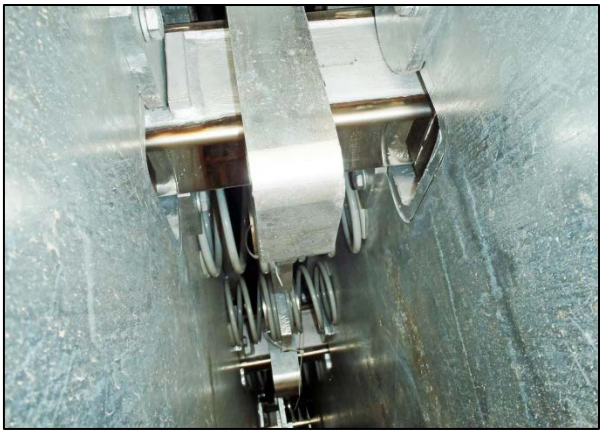
Cadre en acier d'un appareil d'appui en élastomère fretté (poutres en béton)



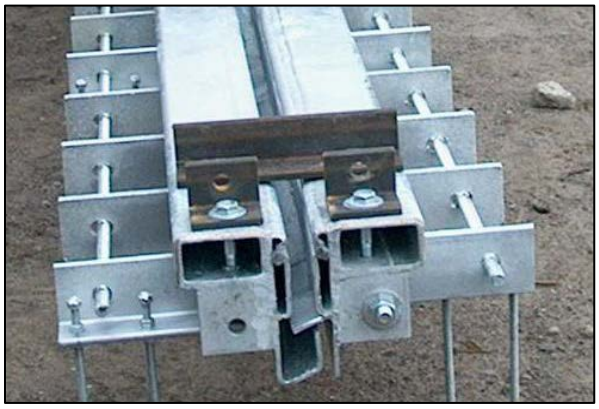
Appareils d'appui à élastomère confiné (guidés) sur blocs d'assise et plaques temporaires encore en place



Plaque de recouvrement d’un joint multi-modules



Poutre de support et système de ressorts pour un joint multi-modules



Joint de tablier de type HSS avec dalots



Joint de tablier à plus d’une garniture (2)



Essai d’étanchéité d’un joint de tablier



Dispositif de retenue avec poteaux posés selon la verticale (profil supérieur à 2 %)

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 9 – ÉQUIPEMENTS

GÉNÉRALITÉS

- Aviser la DCQM du Ministère (via le chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) pour suivi de la fabrication en usine (suivi non systématique).
- Les employés du Ministère ont accès en ligne à la norme mentionnée dans ce chapitre et émise par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

APAREILS D'APPUI

Documents requis

- Plans d'atelier
- Remplacement d'appareils d'appui
  - Plan décrivant les méthodes de levage et de support du tablier
    - Levage simultané sur toute la largeur du tablier
    - Levage maximum de 15 mm si circulation maintenue (attention aux conduits de services publics et joint de tablier)
      - Ponts à travées continues : vérifier avec le concepteur la hauteur de levage permise (fonction de la rigidité du système structural)
    - Travaux en phases : levage avec 2 pompes lorsqu'une partie de la dalle est démolie
    - Réaction maximale : indiquée dans les plans
    - Points de levage
      - Voir plans et devis si poutres de levage et diaphragmes peuvent servir
    - Installer support du tablier aussitôt levage terminé
- Approbation des documents
  - Plans d'atelier, note de calcul et plan décrivant les méthodes de levage et de support
    - Signés et scellés par un ingénieur
    - Plans d'atelier visés par le surveillant, sauf ceux des appareils d'appui à élastomère confiné (ces derniers sont visés par le concepteur)

Exigences de conception

- Voir CCDG (à l'intention du concepteur)

Matériaux

- Conformité vérifiée en usine par la DCQM du Ministère sous forme d'audits ponctuels
- Coulis cimentaire : selon norme 3901 du Ministère (voir « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par la DCQM »), laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

Assurance de la qualité

- L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*
- Attestation de conformité pour : composé en élastomère, acier inoxydable et bagues d'étanchéité

Mise en œuvre

- Réception des appareils d'appui
  - Déchargement et entreposage adéquats (sur supports et à l'abri des intempéries)
  - Vérifier conformité des appareils aux plans d'atelier visés
  - Appareils d'appui à élastomère confiné
    - Livrés tout montés
    - Ne pas démonter (sinon remontage par fournisseur avant mise en place)
- Tiges d'ancrage
  - Utiliser gabarit temporaire en acier pour localiser et fixer les tiges jusqu'au durcissement du béton
  - Immédiatement avant bétonnage, vérifier
    - La localisation des tiges entre elles, et par rapport à l'unité de fondation qui les supporte et par rapport à l'unité de fondation voisine recevant la même poutre
    - L'horizontalité du gabarit
    - La verticalité des tiges
    - La longueur hors béton des tiges
    - La présence de ruban adhésif sur les filets des tiges
- Blocs d'assise
  - Si dimensions des appareils d'appui modifiées : ajuster dimensions et élévations des blocs d'assise
  - Appareil d'appui en élastomère fretté
    - Construit après la construction de l'unité de fondation
    - Surface rugueuse
    - Vérifier planéité et horizontalité avec niveau de menuisier
    - Vérifier élévation avec niveau d'arpentage
  - Appareil d'appui à élastomère confiné
    - Construit après la construction de l'unité de fondation
    - Vérifier distance entre le dessus du bloc d'assise et le dessous de la plaque d'assise
      - Si moins de 10 mm ou plus de 15 mm : reconstruire le bloc d'assise
- Vérifications à faire avant la pose des poutres – Appareil d'appui en élastomère fretté
  - Vérification de la planéité du dessous des poutres
  - Appareils placés au bon endroit (vérifier épaisseur)
  - Appareils placés dans la bonne direction (plus petite dimension selon l'axe du pont)
  - Température de pose : entre – 10 °C et 20 °C (appareils d'appui sans élément glissant)
  - Poutres en béton : cadre en acier à mettre en place aux appuis mobiles avant les poutres
  - Poutres en acier : tiges d'ancrage pour appui mobile
    - Si température lors de la pose des poutres est entre – 10 °C et 20 °C : tiges d'ancrage à centrer par rapport aux trous oblongs. Si température différente, communiquer avec le concepteur

- Soulèvement du tablier après bétonnage de la dalle peut apparaître au devis spécial
- Appareils d'appui en élastomère fretté avec éléments glissants
  - Manutention et mise en place : ne pas endommager le PTFE et la plaque d'acier inoxydable
  - Essuyer PTFE et plaque d'acier inoxydable avant le montage de l'appareil
  - Centrer l'élément glissant
- Ne pas mettre poutres en place si béton des blocs d'assise $<$ 20 MPa

– Vérifications à faire avant la pose des poutres ou bétonnage du tablier – Appareil d'appui à élastomère confiné
  - Vérification de la planéité du dessous des poutres
  - Procédure d'installation indiquée aux plans d'atelier
  - Appareils placés au bon endroit (vérifier épaisseur et mouvement)
  - Appareils placés dans la bonne direction (vérifier marques sur appareils)
  - Élément glissant centré sauf si table de réglage dans les plans et devis (ne pas enlever plaques d'attache temporaires)
  - Ne pas mettre poutres en place si coulis $<$ 20 MPa ou si béton de l'unité de fondation $<$ 20 MPa
  - Appareil d'appui à élastomère confiné d'un pont neuf
    - Poser plaque d'assise à l'horizontale sur cales en acier (nivellement avec niveau d'arpentage)
    - Fixer la plaque d'assise (écrous sur tiges d'ancrage)
    - Poser cordon de retenue + orifice d'injection + évent
    - Injecter le coulis (coulis selon norme 3901 du Ministère)
      - Température des surfaces de contact : $>$ 10 °C (pendant l'injection + 24 heures)
      - Fermer évent après 5 secondes d'écoulement continu
      - Maintenir pression d'injection 5 secondes additionnelles
      - Vérifier nivellement de la plaque d'assise avant le durcissement du coulis

– Vérifications à faire après la pose des poutres ou bétonnage du tablier
  - Appareils d'appui en élastomère fretté
    - Écrous à mettre en place sur tiges d'ancrage (serrage à fond du contre-écrou avec deux clés d'environ 400 mm, conserver distance minimale indiquée dans les plans entre les écrous et la plaque)
  - Appareils d'appui à élastomère confiné
    - Plaques d'attache temporaires
      - À enlever aussitôt la poutre déposée sur l'appareil
      - À enlever environ 24 heures après le bétonnage d'un tablier en béton coulé en place
  - Tous les appareils d'appui
    - Vérifier la localisation exacte indiquée dans les plans
    - Plaque supérieure et/ou plaque d'assise de l'appareil d'appui à souder
      - À souder minimalement aussitôt les poutres d'une travée posées
      - Enlever le zinc par meulage au droit des soudures + 50 mm au pourtour. Après soudage, ces surfaces doivent être recouvertes de 2 couches d'enduit riche en zinc
      - Si nuance de ces éléments est 350AT ou 350A : utiliser électrodes compatibles (habituellement E48018)
      - Selon les exigences du chapitre 7 du présent manuel
        - Entreprise de soudage (division 1 ou 2) et soudeurs qualifiés

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Attestation sur-le-champ de la conformité des soudures par inspecteur en soudage (rapport écrit à fournir dans les 7 jours)
- T^o maximale de la plaque d'appui (appareil d'appui en élastomère fretté) : 120 °C

- Protéger les appareils mis en place lorsque les travaux ont lieu à proximité

Remplacement d'appareils d'appui (information additionnelle)

- À faire avant travaux sur joints de tablier
- Levage
  - Effectué selon le plan décrivant les méthodes de levage et de support du tablier
  - Si présence d'un joint dalle-sur-culée, prévoir excavation du bout de la dalle
  - Avant le levage :
    - Avis écrit signé par un ingénieur ayant inspecté lui-même l'ouvrage (après la construction)
    - Référencer l'élévation du dessous de chaque poutre
  - Pendant le levage
    - Vérifier comportement des poutres de levage et diaphragmes
    - Lever de façon uniforme sur toute la largeur du tablier
- Remplacement des appareils
  - Forage au-dessus d'un chevêtre : ne pas couper armature structurale
  - Poutres en béton : mettre le cadre en acier en même temps que l'appareil d'appui

JOINTS DE TABLIER

Documents requis

- Plans d'atelier
  - Signés et scellés par un ingénieur
  - Visés par le surveillant
  - Joints d'assemblage : à localiser aux points hauts du profil transversal si possible
  - Longueur maximale des sections de joint : 12 m
  - Ouverture « J » minimale pour joints fournis par Z-Tech : 40 mm
  - Ouverture « J » minimale pour joints fournis par LCL Ponts : 50 mm
  - Le dessin de la garniture doit apparaître sur les plans

Matériaux

- Conformité vérifiée en usine par la DCQM du Ministère
- L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*

Mise en œuvre

- Réception des joints de tablier
  - Déchargement et entreposage adéquats (propre, sur supports rapprochés)
  - Vérifier conformité des joints aux plans d'atelier visés (voir texte de ce chapitre)

- Vérifier que les joints ne sont pas tordus
- Vérifier fourniture des outils pour pose de la garniture

– Vérifications à faire avant la mise en place d'un joint de tablier
  - Dalle neuve : joint à mettre en place après le bétonnage de la dalle
  - Ajustement du joint (ouverture « J ») si T° différente de 15 °C
    - Selon T° de l'air sous la structure
      - Si température change rapidement : moyenne des dernières 48 heures pour pont en béton ou des dernières 24 heures pour un pont en acier
    - Mesuré ⊥ au joint (même pour pont avec biais)
  - Remplacement d'un joint de tablier
    - Enlèvement complet de l'enrobé
      - Relevé d'arpentage du dessus de la dalle, calcul du profil longitudinal et des épaisseurs en tout point de la couche de correction à l'enrobé, à faire par l'entrepreneur
      - Vérifier le profil proposé et l'impact de l'ajout de chaque morte
    - Conduits de services publics dans chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables ou glissières
      - À protéger durant les travaux
      - Manchons pour mouvements de translation à poser
      - Découper au besoin les plaques sous les profilés d'enclenchement du joint

– Mise en place d'un joint de tablier
  - Positionnement (utilisation de cordes)
    - Dalle neuve
      - Selon les profils de la dalle
    - Remplacement d'un joint
      - Enlèvement complet de l'enrobé : selon profil accepté par le surveillant (à la suite du relevé d'arpentage)
      - Enlèvement partiel de l'enrobé : selon profil du pavage demeuré en place (minimum 65 mm)
    - Positionner le joint à l'aide des vis d'ajustement du joint
      - Couper excès de longueur des vis
      - Mettre vis du côté approprié des plaques d'ancrage afin d'éviter conflit avec armature de dalle
  - Une fois le joint positionné
    - Vérifier le niveau du dessus du joint aux chasse-roues, trottoirs et pistes cyclables (+ 0 mm et – 15 mm maximum)
    - Fixer immédiatement le joint par soudage aux armatures
    - Une fois le joint fixé des deux côtés, desserrer aussitôt les cornières et plaques temporaires
    - Coffrages à mettre en place sous le joint de façon à ce qu'ils puissent être enlevés
  - Joint d'assemblage
    - Joints des phases autres que la phase 1 : selon ouverture de la phase 1
    - Soudures : Selon les exigences du chapitre 7 du présent manuel
      - Entreprise de soudage division 3 et soudeur qualifié sauf
        - Joint à plus d'une garniture soudé bout-à-bout en chantier : Entreprise de soudage division 1 ou 2 et soudeur qualifié, présence du représentant du fabricant du joint requise
      - Vérifier alignement des profilés d'enclenchement avant le soudage
      - Souder jusqu'à l'ouverture de l'enclenchement de la garniture

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Vérifications à faire avant le bétonnage
  - Ultimes vérifications (positionnement, ouverture)
  - Boucher l'ouverture entre les profilés d'enclenchement
  - Joint à plus d'une garniture : autorisation écrite du fournisseur à obtenir
  - Béton : même que celui utilisé pour la dalle
- Vérifications à faire après la cure du béton
  - Enlever tous les coffrages et isolant rigide (même ceux sous le joint)
  - Nettoyer au besoin l'ouverture entre les profilés d'enclenchement
  - Interdire la circulation de chantier jusqu'à ce que le béton $>$ 70 % f'c
  - Joint à plus d'une garniture
    - Vérifier béton sous les boîtes des barres de support : consulter le concepteur si présence de vides
  - Mettre en place coulis à l'intérieur des profilés HSS (voir manuel)
- Pose de la garniture en élastomère
  - Posée après le bétonnage du joint de tablier
  - Posée sur toute la longueur du joint de tablier en une seule opération (sans épissure)
  - Posée par le fournisseur du joint dans le cas de trottoirs, de pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle ou d'un joint à plus d'une garniture
  - Ouverture minimale entre les profilés d'enclenchement lors de la pose :
    - Goodco/Ztech : 40 mm
    - LCL Ponts : 50 mm
  - Au moyen des outils et lubrifiant fournis par le fournisseur
  - Précautions particulières au pied des chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle et glissières ainsi qu'aux joints d'assemblage
  - Si garniture déchirée lors de la pose : l'enlever et recommencer avec une nouvelle garniture d'une seule longueur
  - Si travaux en phases pendant l'hiver, prévoir garnitures temporaires
- Essai d'étanchéité (pour tous les joints, y compris ceux avec dalot)
  - Au moyen d'un jet d'eau de 20 mm de diamètre et de 700 kPa, pendant 30 minutes
  - Vérifier attentivement au pied des chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle et glissières et aux joints d'assemblage
  - Accès à fournir sous le joint par l'entrepreneur
  - Réparer joint de tablier non étanche et refaire essai d'étanchéité
  - Fournisseur du joint peut aider à déceler l'origine des fuites
  - Faire une vérification de l'étanchéité lors d'une pluie

DISPOSITIFS DE RETENUE EN ACIER

Documents requis et exigences de conception

- Plans d'atelier
  - Signés et scellés par un ingénieur (si différents des plans de soumission)
  - Visés par le surveillant

Matériaux

- Conformité vérifiée en usine par la DCQM du Ministère
- L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*

Mise en œuvre

- Réception des dispositifs de retenue
  - Déchargement et entreposage adéquats (sur supports rapprochés)
  - Vérifier conformité des dispositifs aux plans d'atelier visés (voir texte de ce chapitre)
  - Galvanisation
    - épaisseur minimale de 87 μm (sauf tubes HSS : 75 μm)
    - surfaces endommagées : voir article 15.14.2 du CCDG
- Vérifications à faire avant la mise en place d'un dispositif de retenue
  - Position et espacement des tiges d'ancrage des poteaux en acier
  - Longueur hors béton de chaque tige d'ancrage
  - Assise en béton sous chaque poteau en acier
    - Horizontale selon l'axe transversal de la structure
    - Selon la pente locale pour l'axe longitudinal de la structure
    - Meuler les aspérités et remplir vides (mortier)
    - Différence entre niveau théorique du dessous du poteau et niveau réel de l'assise : si moins de 5 mm : mettre poudre de ciment pour corriger l'assise (voir manuel)
    - Différence entre niveau théorique du dessous du poteau et niveau réel de l'assise : si plus de 5 mm : reconstruire l'assise (voir manuel)
- Mise en place d'un dispositif de retenue
  - Serrage des boulons et des écrous des tiges d'ancrage : serrage à fond avec une clef d'environ 400 mm
  - Boulons à tête ronde ASTM A449 : tête ronde du côté de la circulation
- Vérifications à faire après la mise en place d'un dispositif de retenue
  - Poteaux et barreaux (selon pente locale de chaque poteau)
    - Pente < 2 % : $\perp$ au profil longitudinal
    - Pente > 2 % : selon la verticale
  - Serrage des boulons est conforme
  - Plaques d'ancrage des poteaux en acier reposent entièrement sur le béton (espaceurs de type rondelles interdits), 3 mm de filets minimum pour les ancrages
  - Manchons des lisses pour joint de tablier : entre poteaux situés de part et d'autre des joints de tablier
  - Pellicules rétroréfléchissantes (norme 14101 du Ministère : type XI : au niveau indiqué dans les plans pour un profil parallèle à celui du tablier)
  - Bout plat : à chaque extrémité de la structure
  - Raccordement des glissières aux approches aux dispositifs de retenue : hauteur d'installation de 710 mm $\pm$ 75 mm (sinon modifier le profil des approches ou celui de la glissière des approches)

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

DRAINS

Documents requis

- Plans d'atelier
  - Visés par le surveillant

Matériaux

- Conformité vérifiée par la DCQM en usine
- L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport.*

Mise en œuvre

- Vérifier aux plans s'il y a conflits entre les drains et les semelles des poutres
- Réception des drains
  - Déchargement et entreposage adéquats (sur supports rapprochés)
  - Vérifier conformité des drains aux plans d'atelier visés (voir texte du chapitre)
  - Vérifier longueur des drains : épaisseur du tablier + 180 mm
  - Galvanisation : épaisseur minimale de 75 μm (surfaces endommagées : voir article 15.14.2 du CCDG)
- Mise en place des drains
  - Dalle neuve : voir aussi chapitre 4 du présent manuel
  - Installer selon la verticale
    - Sauf si interférence avec poutre (dessus selon l'horizontale)
  - Dessus du drain : 30 mm au-dessus de la dalle de béton
  - Dessous du drain : 150 mm en- dessous du tablier des poutres
- Drains sur une structure existante
  - Élimination de drains : ne pas couper les armatures de la dalle ou du tablier
  - Nouveaux drains
    - À installer aux endroits indiqués dans les plans ou par le surveillant
    - Ne pas couper des armatures (consulter d'abord le concepteur)
    - Points de décharge
      - Protection à installer pour ne pas éroder le remblai
      - Chaussée sous le drain : drainage horizontal à prévoir
- Si travaux en phase ne permettant pas le raccordement des descentes, prévoir descentes temporaires
- Mise en place des drains d'interface (vis-à-vis culée galerie)
  - Près d'un joint de tablier situé au point bas du profil longitudinal (en amont du joint)
  - Bétonner en même temps que le joint de tablier
  - Écoulement en s'éloignant du garde-grève

CHAPITRE 10

MEMBRANE D'ÉTANCHÉITÉ ET MEMBRANE AUTOCOLLANTE POUR JOINTS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **10-1**

NORMES **10-1**

10.1 MATÉRIAUX **10-2**

10.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ **10-2**

10.3 MEMBRANE D'ÉTANCHÉITÉ **10-2**

10.3.1 Mise en œuvre 10-2

10.4 MEMBRANE AUTOCOLLANTE POUR JOINTS **10-23**

FIGURE

Figure 10.3-1 Zones associées au dégel 10-14

PHOTOGRAPHIES **10-27**

AIDE-MÉMOIRE **10-29**

INTRODUCTION

Membrane d'étanchéité

La membrane d'étanchéité est utilisée pour étancher le dessus des dalles.

La détérioration d'une dalle en béton est avant tout liée à des contraintes environnementales plutôt qu'à des raisons purement structurales. La dalle en béton d'une structure doit donc être protégée contre les agressions du milieu ambiant.

L'utilisation d'une membrane d'étanchéité constitue sans aucun doute la méthode la plus efficace pour empêcher l'eau chargée de chlorures de s'infiltrer dans le béton d'une dalle. De cette façon, la membrane aide à prévenir la désagrégation du béton sous l'effet des cycles de gel et de dégel ainsi que le délaminage engendré par la corrosion des aciers d'armature. La pose d'une membrane d'étanchéité, suivie par celle d'un revêtement en enrobé à chaud, est la méthode de protection privilégiée partout au Canada et dans bon nombre d'États américains.

Le principal défi de l'entrepreneur concernant la réalisation de travaux d'étanchéité adéquats consiste souvent à composer avec des conditions météorologiques défavorables. En effet, les travaux se font habituellement en fin de saison, au moment où précipitations et basse température sont fréquemment au rendez-vous. De plus, comme les travaux d'étanchéité se réalisent en un court laps de temps, leur importance peut être à tort minimisée compte tenu des nombreuses autres obligations de l'entrepreneur et du surveillant.

Membrane autocollante pour joints

La membrane autocollante pour joints est utilisée, lorsqu'indiqué aux plans, pour étancher des joints entre des éléments différents (sections de murs de soutènement, sections de ponceaux, sections de culées, un mur et un ponceau, un mur garde-grève et une dalle de transition, etc.) et des joints de construction et de contrôle. Elle sert également à étancher des fissures sur la partie remblayée d'éléments en béton et à empêcher le collage de surfaces de béton (ex. : joint dalle sur culée et joint d'articulation des portiques).

NORMES

Afin d'alléger le texte, la description complète des normes citées dans le présent chapitre est faite ici. Ces normes sont :

ASTM E 965 :	Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique
Norme 3701 du Ministère :	Membrane d'étanchéité
Norme 3702 du Ministère :	Membrane autocollante pour joints
Norme 3801 du Ministère :	Mortiers cimentaires en sac

10.1 MATÉRIAUX

Membrane d'étanchéité

La membrane d'étanchéité utilisée doit être conforme à la norme 3701 du Ministère. Les membranes qui satisfont aux exigences de la norme et la couche d'accrochage recommandée par le fabricant de ces membranes paraissent à la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

La membrane est fabriquée en rouleaux de 1 m de largeur sur 8 m ou 200 m de longueur, selon le type d'équipement utilisé pour la pose. Les rouleaux doivent être entreposés à l'abri des intempéries sur des surfaces propres. Les rouleaux sont placés à la verticale pour éviter de les endommager. La pose de la membrane doit se faire selon l'axe longitudinal de la dalle parce que la trame en polyester qui la compose est plus résistante dans le sens de la longueur des rouleaux.

La couleur grise des gravillons de la membrane a été choisie pour diminuer le plus possible l'apparition de poches d'air que pourrait causer le réchauffement de la membrane par temps chaud et ensoleillé.

Membrane autocollante pour joints

Les membranes autocollantes pour joints acceptées par le Ministère sont celles conformes à la norme 3702 du chapitre 3 du *Tome VII – Matériaux* de la collection Normes – Ouvrages routiers du Ministère. Mentionnons que seules les membranes en feuilles préfabriquées de plus de 2,5 mm d'épaisseur et qui sont conformes à la norme 3702 sont autorisées par le Ministère. Ceci s'explique par le fait que le Ministère a voulu éviter de compliquer ces travaux; en effet, il aurait fallu poser un panneau de protection par-dessus la membrane si le Ministère avait autorisé l'utilisation de membrane de moins de 2,5 mm d'épaisseur.

10.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport*.

10.3 MEMBRANE D'ÉTANCHÉITÉ

10.3.1 Mise en œuvre

10.3.1.1 Nettoyage des surfaces

La vérification de profil du dessus de la dalle avec la règle de 3 m (exigée à l'étape « Inspection, correction et nettoyage des surfaces » de la section « Béton » du CCDG pour les dalles neuves) ainsi que les mesures du relief de la dalle au moyen du test de

la tache de sable (exigées à l'étape de « Correction des surfaces » de la section « Membrane » du CCDG), devraient être effectuées avant le nettoyage des surfaces pour une dalle neuve et avant le nettoyage complémentaire pour une dalle existante. Précisons que dans le cas des dalles existantes, il n'existe pas de critère établi pour la vérification du profil avec la règle de 3 m, mais le surveillant peut se servir de cet outil pour juger des sections à corriger s'il y a lieu.

Ces vérifications et mesures sont préliminaires au nettoyage final des surfaces advenant que des mesures correctrices seraient requises sur les surfaces de dalle. Cette façon de faire permet de compléter les étapes de nettoyage de la dalle après la réalisation de mesures correctives appropriées et ainsi d'éviter qu'un autre nettoyage complémentaire soit nécessaire.

Le nettoyage des surfaces d'une dalle est nécessaire pour augmenter la résistance superficielle du béton et, conséquemment, l'adhérence de la membrane à la dalle.

Le nettoyage des surfaces de dalle doit inclure les surfaces du béton et celles de l'acier le cas échéant, de la partie inférieure des chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle, et glissières sur une hauteur de 65 mm pour permettre la pose adéquate du solin.

Une fois que le nettoyage d'une dalle neuve ou le nettoyage complémentaire d'une dalle existante est en cours ou terminé, toutes les précautions doivent être prises pour éviter de salir de nouveau les surfaces; on doit y interdire notamment la circulation de véhicules et le passage d'ouvriers chaussés de bottes souillées.

Dalle neuve

Le nettoyage des surfaces d'une dalle neuve consiste à enlever la fine couche de laitance du dessus du béton ainsi que toute matière cimentaire ou tout agrégat mal adhéré. Ce nettoyage devient encore plus important lorsqu'il y a eu de la pluie lors du bétonnage de la dalle ou lorsque l'entrepreneur a utilisé plus d'eau que nécessaire au cours de ses opérations d'humidification continue du béton frais, ce qui est une mauvaise pratique de ce dernier. En effet, ces deux situations entraînent une altération de surface de la matrice du béton frais et l'accumulation d'une couche plus ou moins épaisse de laitance aux points bas du tablier. Si l'épaisseur des dépôts de laitance est importante, il faut parfois faire précéder le nettoyage par l'enlèvement de ces dépôts par un moyen approprié proposé par l'entrepreneur (ex. : léger meulage, jet d'abrasif sec, brossage, etc.) et approuvé par le surveillant.

Le nettoyage consiste aussi à enlever les particules d'enrobé à chaud et le film du bitume à la suite du décapage de l'enrobé temporaire lorsque ce dernier a été mis en place.

Le nettoyage devrait être fait après l'enlèvement des éclaboussures et des bavures conséquentes au bétonnage de la dalle et des bordures. Il doit être fait peu de temps avant la pose de la couche d'accrochage de la membrane, soit à l'intérieur d'un délai de 48 heures précédant cette pose, afin d'éviter que la dalle se salisse de nouveau.

Pour les dalles neuves, le nettoyage au moyen de billes d'acier est exigé, puisqu'il est efficace, rapide, peu coûteux, faible générateur de poussières et de vérification facile pour le surveillant. Ces travaux devraient être précédés d'un nettoyage rapide fait au moyen d'un jet d'air pour enlever les débris et les eaux stagnantes qui pourraient nuire au nettoyage. Les surfaces de béton doivent être sèches au moment du nettoyage.

Les zones qui sont inaccessibles à l'équipement sur roues de nettoyage avec billes d'acier, comme le bas des chasse-roues, glissières et trottoirs sont nettoyées au moyen d'un jet d'abrasif sec; il n'est pas permis d'utiliser un jet d'abrasif humide ou un jet d'eau, puisqu'il est contre-indiqué de mouiller les surfaces durant la période de séchage du béton. Compte tenu des risques pour la santé associés à la silice cristalline libérée dans l'air lors du nettoyage avec jet d'abrasif à sec, l'entrepreneur doit prendre les moyens nécessaires pour protéger les ouvriers et les riverains pendant ces travaux.

Pour les zones inaccessibles au jet de billes d'acier, certains entrepreneurs préfèrent utiliser un meulage localisé de la dalle pour nettoyer les zones au bas des chasse-roues, glissières et trottoirs. Cette pratique peut être tolérée pourvu que le meulage n'amène pas un polissage excessif du béton (éviter d'avoir un fini poli, qui nuirait à l'adhérence de la membrane), ne crée pas de dépressions indésirables (creux) en surface de dalle affectant les profils et ne réduit pas l'épaisseur d'enrobage exigé au-dessus des armatures supérieures de dalle.

Bien que les billes d'acier soient recyclées en grande partie d'une façon continue par l'équipement sur roues, une autre plaque aimantée se déplaçant sur roues est aussi utilisée pour récupérer la grande majorité des billes laissées sur la dalle. Malgré cela, une certaine quantité de billes d'acier peuvent rester emprisonnées dans les cavités du béton, d'où la nécessité de terminer le nettoyage par l'enlèvement de ces billes au moyen d'un jet d'air.

Dalle existante

Le nettoyage des surfaces d'une dalle existante doit se faire en deux étapes, soit un nettoyage de base suivi d'un nettoyage complémentaire.

Dalle existante – Étape 1 : nettoyage de base

Le nettoyage de base des surfaces consiste à enlever toute matière étrangère des surfaces de béton comme toute trace de laitance ou de rouille sur la partie métallique des chasse-roues, toute particule n'adhérant pas à la surface à conserver, tout débris incrusté, tout matériau de cure, tout résidu bitumineux, etc.

Le nettoyage doit être fait dès que possible après les travaux de décapage ou d'enlèvement du revêtement et de la membrane d'étanchéité existants. Un nettoyage hâtif n'est pas sans importance, puisqu'il permet au surveillant de délimiter adéquatement les surfaces d'une dalle qui doivent être réparées. Il permet aussi à l'entrepreneur de détecter toutes les zones de dalle ayant un profil à corriger (test de la règle de 3 m, niveau électronique, arpentage, etc.) et/ou un relief non conforme (test de

la tache de sable) bien avant la pose de la membrane, lui laissant ainsi tout le temps nécessaire pour réaliser les corrections qui s'imposent.

Le nettoyage est fait au moyen d'un jet d'abrasif humide ou d'un jet d'eau haute pression dont la capacité permet d'obtenir les résultats attendus. Bien que ces travaux puissent être réalisés au moyen d'un équipement à jet unique d'opération manuelle, l'utilisation d'un jet d'eau rotatif sous pression de 30 à 40 MPa (4 500 à 6 000 lb/po^2) monté sur un équipement sur roues serait préférable. En effet, cet équipement offre généralement une très bonne qualité de nettoyage et facilite la tâche du surveillant, car il est aisé de vérifier que le nettoyage est effectivement fait sur toutes les surfaces. Les zones inaccessibles à l'équipement sur roues sont nettoyées au moyen d'un jet d'eau haute pression d'opération manuelle ou d'un jet d'abrasif humide.

Lorsqu'il s'avère difficile de procéder adéquatement au nettoyage, même à l'aide d'un équipement sur roues, notamment à cause de débris bitumineux incrustés, l'entrepreneur devrait réaliser une planche d'essai avec un équipement plus puissant (56 à 84 MPa (8 400 à 12 600 lb/po^2)) afin de mieux fixer les paramètres d'opération de l'équipement, entre autres le type de buse, la pression de l'eau, la vitesse de déplacement et le nombre de passages de l'équipement. Une planche d'essai bien réalisée permet d'enlever une quantité maximale de résidus sans endommager le béton de la dalle.

Les surfaces ainsi nettoyées doivent ensuite être débarrassées, immédiatement après le nettoyage de base, de tout débris et d'éclaboussures au moyen d'un jet d'eau sous pression agissant comme une opération de rinçage (pression de 15 MPa) et ayant les caractéristiques mentionnées dans le CCDG. Ce rinçage et le nettoyage de base, si celui-ci a été réalisé au moyen d'un jet d'eau haute pression, génèrent beaucoup d'eau sur le tablier du pont; le surveillant doit donc veiller à ce que l'entrepreneur canalise cette eau de façon à éviter de nuire aux usagers tant sur les voies attenantes que sur celles situées sous le pont si elles sont demeurées ouvertes à la circulation.

<u>Dalle existante – Étape 2 : nettoyage complémentaire</u>

Le nettoyage complémentaire consiste à enlever la fine couche de laitance et le matériau de cure formant membrane du dessus des zones de dalle corrigées avec un mortier cimentaire. Il consiste aussi à nettoyer le pourtour de ces zones qui auraient pu être salies au cours des travaux de réparation avec du béton ou de correction avec du mortier et à enlever sur l'ensemble du tablier tous les autres débris qui auraient pu s'incruster dans les cavités du béton depuis le nettoyage de base.

Le nettoyage complémentaire doit être effectué après la fin de la cure des réparations effectuées avec du béton et des corrections de dalle effectuées avec du mortier. Il doit être fait peu de temps avant la pose de la couche d'accrochage de la membrane, soit à l'intérieur d'un délai de 48 heures précédant la pose de celle-ci, afin d'éviter que la dalle se salisse de nouveau.

Le nettoyage complémentaire doit être fait selon la méthode décrite pour le nettoyage d'une dalle neuve.

Nettoyage au jet d'air

Immédiatement avant la correction des surfaces existantes de dalle ainsi qu'avant l'application de la couche d'accrochage et de la membrane d'étanchéité des dalles neuve et existante, les poussières et les débris doivent être enlevés à l'aide d'un jet d'air. Ces poussières et débris peuvent avoir été apportés notamment par le vent ou les véhicules circulant sur une voie attenante, depuis la fin du nettoyage d'une dalle neuve ou du nettoyage complémentaire d'une dalle existante. L'utilisation d'un jet d'air est obligatoire pour effectuer ce nettoyage, puisqu'il n'est pas possible de se servir d'un jet d'eau ou d'un jet d'abrasif humide au cours de la période de 24 heures sans précipitations précédant la pose de la couche d'accrochage.

Le matériel utilisé pour le jet d'air doit être muni d'un filtre qui capte l'huile; l'efficacité du filtre doit être démontrée avant l'utilisation du matériel, afin de ne pas nuire à l'adhérence de la membrane; une façon simple de vérifier l'absence d'huile est de diriger le jet sur un chiffon blanc.

Ce nettoyage, même s'il n'a pas l'ampleur du nettoyage des surfaces effectué précédemment, n'en constitue pas moins une étape importante pour obtenir des travaux de qualité, surtout près des bordures. Si l'utilisation d'un jet d'air ne suffit pas pour avoir une surface libre de toute poussière ou de débris, comme dans le cas où les surfaces ont été très salies après le nettoyage d'une dalle neuve ou le nettoyage complémentaire d'une dalle existante, l'entrepreneur doit recourir à des moyens plus importants, similaires à ceux utilisés pour le nettoyage complémentaire d'une dalle existante.

10.3.1.2 Correction des surfaces

Test de la tache de sable

Le relief de la dalle, c'est-à-dire l'ampleur des aspérités par rapport aux creux du béton, est vérifié au moyen du test de la tache de sable, selon la norme ASTM E 965. Ce test porte le nom de « tache de sable » même si aujourd'hui on utilise plutôt des billes de verre. Le test est une mesure objective de l'uni de la dalle et la répétabilité des mesurages (tests) en fait un outil précieux pour la vérification du relief. Le relief de la dalle est inversement proportionnel au diamètre du cercle formé par la tache de sable; c'est-à-dire que plus le diamètre du cercle est grand, plus le relief de la dalle est faible.

Comme mentionné précédemment, la mesure du relief d'une dalle neuve devrait être réalisée dès que possible lorsque la période de cure du béton a pris fin, une fois les bavures et les éclaboussures de laitance dues au bétonnage enlevées, et préférablement avant le nettoyage des surfaces. La mesure du relief d'une dalle existante, quant à elle, devrait être réalisée dès que possible après le nettoyage de base. Dans les deux cas, une mesure hâtive du relief n'est pas sans importance, puisque cela laisse tout le temps nécessaire à l'entrepreneur d'effectuer les mesures

correctrices sur les zones de dalle qui seraient non conformes. De plus, le fait de procéder à la mesure du relief avant le nettoyage d'une dalle neuve ou avant le nettoyage complémentaire d'une dalle existante, permet de nettoyer le dessus des corrections et leurs pourtours en même temps que le reste des surfaces de la dalle.

Avant de procéder à la mesure du relief des surfaces de la dalle, le surveillant doit d'abord examiner minutieusement cette dernière, de manière à réduire le nombre de tests de tache de sable requis. En effet, il est inutile de faire des tests sur des surfaces ayant peu de relief, puisque celles-ci sont de toute évidence conformes; de même, qu'il est inutile de faire des tests sur des surfaces ayant un fort relief, puisque celles-ci sont de toute évidence non conformes. Les tests de la tache de sable sont donc réalisés sur les surfaces d'une dalle dont le relief est marginal, c'est-à-dire aux environs des limites établies pour départager les surfaces conformes de celles qui sont non conformes. Le nombre de tests dépend cependant de l'expérience du surveillant, et ce dernier ne doit pas hésiter à faire un ou deux tests de plus s'il a des doutes quant à la conformité de certaines zones de dalle.

Le test doit être effectué sur des surfaces sèches et propres. Les zones à tester doivent être nettoyées au moyen d'un balai ou d'un aspirateur pour enlever toutes les poussières et les matières étrangères. En se servant de son corps comme d'un écran contre le vent, il faut vider sur la dalle le contenu d'une bouteille de billes de verre de manière à former un cône. Celui-ci est ensuite étendu au moyen d'une rondelle de hockey pour former un cercle le plus grand possible tout en s'assurant de garder le dessus des billes le plus parallèle possible à la dalle et au niveau de l'aspérité la plus prononcée.

Le diamètre du cercle formé par les billes est ensuite mesuré selon deux directions perpendiculaires et la moyenne de ces deux valeurs est comparée avec le diamètre minimal exigé, soit 200 mm pour une dalle neuve et 165 mm pour une dalle existante. Cette différence quant aux exigences a pour objectif de limiter les coûts associés à la correction du dessus d'une dalle existante; l'exigence moindre pour les dalles existantes est en fait un compromis entre les aspects technique et financier de la correction des surfaces.

Correction des surfaces d'une dalle neuve

En cas de non-conformité du relief d'une zone de dalle à la suite de la réalisation du test de la tache de sable, l'entrepreneur doit meuler les aspérités et les arêtes vives des dépressions du béton. Si cela est insuffisant pour obtenir un relief conforme, les travaux sont jugés comme « défectueux » selon l'article 7.10 du CCDG et l'entrepreneur doit proposer une solution; le surveillant doit par contre refuser toute correction nécessitant la pose d'un enrobé à chaud, car cette solution, facile d'application et peu coûteuse à court terme, entraînera des délais et des coûts importants lors du remplacement éventuel de la membrane d'étanchéité. En effet, pour bien saisir l'ampleur de ce problème, le surveillant n'a qu'à se référer aux exigences du nettoyage de base d'une dalle existante.

Correction des surfaces d'une dalle existante

En cas de non-conformité du profil et/ou du relief d'une zone de dalle existante, l'entrepreneur doit corriger les surfaces selon les exigences des documents contractuels, de façon à obtenir le profil et le relief requis. Il doit d'abord meuler les aspérités et les arêtes vives des dépressions du béton et, si cela est insuffisant, combler les creux avec du mortier ou, lorsque demandé par le surveillant, avec un enrobé à chaud de type EC-5 ou EC-10 selon l'épaisseur de la couche à poser. Comme indiqué au CCDG, le surveillant doit identifier les surfaces à meuler et toute surface meulée sans l'autorisation du surveillant n'est pas payée; cette exigence du CCDG est nécessaire pour éviter toute dérive au niveau des quantités à payer.

Puisqu'il est impossible de connaître le relief d'une dalle avant l'enlèvement du revêtement par décapage, le concepteur a inscrit sur le bordereau la superficie de correction des surfaces estimée à partir notamment de l'expertise de la dalle. Le surveillant doit, quant à lui, faire toutes les corrections requises même si la superficie des surfaces à corriger dépasse largement celle initialement prévue.

Les surfaces à corriger doivent être préalablement nettoyées selon les exigences du CCDG à moins que le nettoyage de base de la dalle ait été effectué moins de 48 heures avant d'entamer les opérations de réparation sans interruption pour la correction des surfaces. Ce cas peut se présenter lorsqu'aucune réparation de dalle n'est nécessaire à la suite du nettoyage de base.

Correction des surfaces d'une dalle existante – mortier

Le mortier est surtout utilisé pour de petites surfaces (traces de bottes ou de pièces de bois, etc.) à cause de son coût élevé au mètre carré, qui le rend peu intéressant lorsque l'ampleur des surfaces à corriger est importante et à cause des délais supplémentaires associés à sa pose et à sa cure, ainsi que de sa difficulté à bien adhérer au béton.

Un trait de scie de 10 mm doit être réalisé au pourtour des zones à corriger. Ces zones doivent ensuite être démolies jusqu'à une profondeur minimale de 15 mm avec un marteau pneumatique manuel d'au plus 7 kg. Les surfaces de béton à conserver doivent finalement être préparées selon les exigences de l'article 15.4.3.5.1 « Préparation des surfaces à conserver » du CCDG. Ces mesures s'imposent afin de maximiser l'adhérence du mortier au béton, car l'expérience démontre qu'aucun mortier offert sur le marché n'est efficace et durable pour une utilisation inférieure à 10 mm sans une préparation adéquate du substrat dans une réparation de dalle d'ouvrage d'art.

L'entrepreneur doit utiliser un mortier cimentaire qui développe une résistance suffisante à court terme de manière à réduire le plus possible les délais de cure et de séchage nécessaires avant la pose de la couche d'accrochage de la membrane. Il est donc exigé au CCDG que le mortier choisi puisse acquérir une résistance à la compression d'au moins 20 MPa à 24 heures. Après la vérification de la fiche technique du mortier proposé par l'entrepreneur, quant à sa conformité pour la résistance

à 24 heures, le surveillant doit aussi s'assurer que le mortier satisfait aux exigences de la norme 3801 du Ministère. Les mortiers qui respectent cette norme apparaissent dans la « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.

Un mortier spécialement formulé pour utilisation à basse température (à plus de 5 ºC) doit être utilisé lorsque les conditions météorologiques l'exigent.

Compte tenu du peu d'indications précises sur le type de cure à réaliser dans le cas de plusieurs mortiers inscrits dans la liste précitée, il est exigé au CCDG que la cure soit effectuée au moyen d'un matériau de cure formant une membrane translucide avec colorant fugace à base d'eau, et ce, peu importe les exigences du fabricant. Un colorant fugace est requis pour faciliter le travail du surveillant quant à la pose suffisante ou non du produit alors qu'un matériau à base d'eau est exigé, puisque plusieurs mortiers sont sensibles aux matériaux à base de solvant. Selon le CCDG, la cure doit être d'une durée minimale de 24 heures; si on tient compte du délai de séchage et de la période sans pluie de 24 heures précédant la pose de la couche d'accrochage de la membrane, la correction des surfaces au moyen de mortier doit donc être finalisée au moins 48 heures avant la pose de cette dernière. De plus, notons que ce délai minimal de 48 heures est valable à condition que l'entrepreneur ait enlevé toute trace du matériau de cure formant une membrane tout de suite après les 24 heures de cure, permettant ainsi au béton de « sécher » pendant une autre période de 24 heures sans précipitations juste avant la pose de la couche d'accrochage.

Rappelons que la cure du mortier doit être terminée avant le début du nettoyage complémentaire de la dalle.

Les surfaces corrigées au moyen de mortier doivent être vérifiées après la cure de celui-ci. Les surfaces qui produisent un son creux lorsque frappées avec un marteau de maçon doivent être démolies et recorrigées. Le surveillant doit être vigilant, car ce problème arrive fréquemment compte tenu de la pose en faible épaisseur du mortier, des surfaces de contact mal préparées ou de la cure mal réalisée.

Correction des surfaces d'une dalle existante – enrobé

La correction à l'enrobé est utilisée pour de grandes surfaces de dalle en raison de son coût peu élevé, de la rapidité d'exécution et de la bonne adhérence de l'enrobé au béton. Cette méthode a fait ses preuves au fil des années, et le surveillant peut l'employer sans crainte.

Le surveillant doit cependant consulter le concepteur pour s'assurer que la structure est en mesure de supporter la charge additionnelle que représente l'enrobé de correction. Il est en effet spécifié au CCDG que l'épaisseur minimale d'enrobé doit être d'au moins 15 mm en tout point. Cette épaisseur n'est pas négligeable surtout si une surépaisseur additionnelle d'enrobé au-dessus de la membrane est à prévoir pour améliorer un profil longitudinal inadéquat.

Notons également qu'il n'est pas possible de diminuer l'épaisseur d'enrobé posé au-dessus de la membrane pour ajuster celle de la couche de correction sous la membrane. Pour qu'une membrane d'étanchéité continue de bien adhérer au fil du temps, elle doit être recouverte d'une épaisseur minimale d'enrobé de 60 mm.

Le surveillant doit aussi noter que la présence de joints de tablier vient compliquer le choix d'utiliser ou non de l'enrobé pour corriger des surfaces de dalle existantes, puisque cet enrobé réduit la hauteur libre au droit des épaulements des joints pour la pose de la membrane et du revêtement. Il est alors recommandé d'employer au besoin le mortier comme matériau de correction; mentionnons que cette pratique peut entraîner un inconfort important pour les usagers, compte tenu du profil irrégulier du revêtement qui en résultera. Le surveillant doit donc faire preuve de jugement pour tout à la fois réduire les coûts de correction et ne pas nuire exagérément au confort des usagers.

Dans le cas d'une dalle ayant fait l'objet de réparations, l'entrepreneur est autorisé à poser la correction à l'enrobé après la réalisation du nettoyage complémentaire de la dalle et après une période de 24 heures sans précipitations suivant la fin de la période de cure de sept jours des réparations. La période sans précipitations commence aussitôt après l'enlèvement des matériaux de cure et de toute eau stagnante sur la dalle. Dans le cas d'une dalle n'ayant pas fait l'objet de réparations, l'entrepreneur est autorisé à poser la correction à l'enrobé après la réalisation du nettoyage complémentaire et après une période de 24 heures sans précipitations. Ces délais sont nécessaires pour maximiser l'adhérence de l'enrobé au béton de la dalle.

Compte tenu de la faible épaisseur de la correction à l'enrobé, il est très important de s'assurer que le liant d'accrochage de l'enrobé est appliqué uniformément sur toutes les surfaces; un épandage en peigne ou en bandes non contiguës n'est pas considéré comme un épandage uniforme. Si cela se produit, l'entrepreneur doit ajouter du liant et brosser manuellement l'ensemble des surfaces de façon à avoir du liant d'accrochage en tout point de la dalle selon le taux de pose exigé. De même, il faut s'assurer de réaliser la compaction de l'enrobé immédiatement après son épandage, car celui-ci se refroidit très rapidement puisqu'il est posé sur une épaisseur très faible.

La compacité de l'enrobé de correction est obtenue au moyen d'un rouleau à pneus. Le surveillant doit être vigilant au début de la mise en œuvre de la compaction, car l'utilisation d'un rouleau dont les pneus sont froids amène l'enrobé à coller sur la surface de ces derniers. Pour que ce problème soit évité, les pneus peuvent être préalablement réchauffés au moyen d'appareils de chauffage similaires à ceux employés pour le chauffage des abris de bétonnage par temps froid. Il faut absolument interdire à l'entrepreneur d'enduire les rouleaux d'huile à chauffage, car cette substance détériore l'enrobé.

10.3.1.3 Pose de la membrane d'étanchéité

Une fois terminés le nettoyage et la correction des surfaces, la pose de la membrane d'étanchéité peut commencer. Les étapes de réalisation des travaux relatifs à la

membrane sont : l'application de la couche d'accrochage, la mise en place d'une première bande de membrane près des chasse-roues, trottoirs, pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle ou glissières, la pose de la membrane sur l'ensemble de la dalle et la pose du solin.

a) Délais, période autorisée et conditions météorologiques

Le surveillant se doit d'être présent en tout temps lors des diverses étapes relatives à la pose de la membrane d'étanchéité. D'ailleurs, l'exigence du CCDG demandant à l'entrepreneur de lui donner un avis écrit d'au moins 24 heures pour préciser la date et l'heure de la mise en œuvre est une mesure exceptionnelle qui témoigne de l'importance que le Ministère accorde à ces travaux. La présence continue du surveillant est nécessaire, car celui-ci doit s'assurer de la qualité de la mise en œuvre au fur et à mesure que l'entrepreneur progresse dans ses opérations. Il est en effet impossible de vérifier entièrement la qualité des travaux une fois ceux-ci terminés.

<u>Délais – dalle neuve</u>

La couche d'accrochage doit être posée après un délai minimal de 14 jours suivant le bétonnage d'une dalle. Ce délai peut être réduit en fonction des conditions météorologiques. En effet, à la suite de tests de laboratoire, il a été déterminé que la majorité de l'eau libre du béton qui pouvait s'évaporer pendant une période de séchage de sept jours consécutifs s'était effectivement évaporée après une période de seulement trois jours consécutifs sans précipitations.

L'entrepreneur est donc autorisé à poser la couche d'accrochage dès la fin d'une période de séchage de trois jours consécutifs sans précipitations faisant suite à la période de cure de sept jours du béton de la dalle. La période de séchage commence aussitôt après l'enlèvement des matériaux de cure et de toute eau stagnante sur la dalle. Si la période de séchage est interrompue par une précipitation, l'entrepreneur doit de nouveau enlever toute l'eau stagnante sur la dalle et attendre la fin d'une nouvelle période de séchage de trois jours consécutifs sans précipitations. Cependant, afin de ne pas retarder indûment les travaux, l'entrepreneur est autorisé à procéder à la pose de la couche d'accrochage après une période sans précipitations de 24 heures si un délai de 14 jours s'est écoulé depuis la fin du bétonnage de la dalle.

De plus, puisque la fin de la période de cure des chasse-roues, des trottoirs, des pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle et des glissières arrive après celle de la dalle, il est exigé au CCDG que la pose de la couche d'accrochage de la membrane ne soit faite qu'après une période de 24 heures sans précipitations suivant la fin de la période de cure de ces éléments. Cette exigence est nécessaire compte tenu du mouillage de la dalle lors de cette cure. Une période de 24 heures est spécifiée en lieu et place d'une période de séchage de trois jours consécutifs sans précipitations afin de ne pas retarder indûment la suite des travaux.

Tout nettoyage des surfaces d'une dalle au moyen d'eau ou d'abrasif humide, ou tout autre déversement d'eau sur la dalle, doit être considéré au même titre qu'une précipitation, et met donc fin à la période sans précipitations en cours.

Par conséquent, le délai le plus court qui doit être respecté après la fin du bétonnage de la dalle est donc de 10 jours. Par contre, l'exigence d'une période minimale de 24 heures sans précipitations après le délai de 14 jours suivant le bétonnage de la dalle peut entraîner des délais supplémentaires.

Résumé des délais à respecter pour une dalle neuve :

- Couche d'accrochage :
  - après le bétonnage de la dalle : au moins 13 jours (7 jours de cure plus 6 jours de séchage) plus 24 heures sans précipitations avec un minimum de 10 jours si pas de précipitations après la fin de la cure;
  - après le bétonnage des côtés extérieurs ou celui d'un joint de tablier : au moins 7 jours de cure plus 24 heures sans précipitations;
  - après le nettoyage des surfaces consécutif à l'enlèvement de l'enrobé temporaire : 24 heures sans précipitations;
  - après le nettoyage : moins de 48 heures;
- Membrane d'étanchéité :
  - après la pose de la couche d'accrochage : entre 12 et 24 heures;
  - avant la pose de l'enrobé : 3 jours maximum.

Le résumé des délais pour une dalle neuve « Étapes et délais pour la mise en œuvre de la membrane d'étanchéité et du revêtement en enrobé sur une dalle neuve » se retrouve également reproduit de façon schématique en fin de chapitre.

<u>Délais – dalle existante</u>

Dans le cas d'une dalle ayant fait l'objet de réparations, l'entrepreneur est autorisé à poser la couche d'accrochage après une période de 24 heures sans précipitations faisant suite à la période de cure de sept jours des réparations. La période sans précipitations commence aussitôt après l'enlèvement des matériaux de cure et de toute eau stagnante sur la dalle.

Dans le cas d'une dalle n'ayant pas fait l'objet de réparations, l'entrepreneur est autorisé à poser la couche d'accrochage après une période de 24 heures sans précipitations.

Comme dans le cas d'une dalle neuve, il faut attendre la fin d'une période de 24 heures suivant la cure des chasse-roues, des trottoirs, des pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle et des glissières. De même, tout nettoyage des surfaces d'une dalle au moyen d'eau ou d'abrasif humide, ou tout autre déversement d'eau sur la dalle, doit

être considéré au même titre qu'une précipitation et met donc fin à la période sans précipitations en cours.

Lorsque la dalle a été corrigée au moyen d'un enrobé à chaud, il faut attendre le refroidissement complet de l'enrobé avant de poser la membrane pour éviter le ramollissement indu de celui-ci sous l'action des équipements de chauffe utilisés pour la pose de la membrane. Mentionnons que la couche d'accrochage de la membrane peut être posée immédiatement après une précipitation à la condition que les surfaces d'enrobé soient sèches et propres. Cette spécification du CCDG s'explique, puisque le séchage en profondeur de l'enrobé, qui peut prendre plusieurs jours, n'est pas nécessaire à la bonne adhérence de la membrane.

Dans le cas où le béton contenant 15 % de latex a été utilisé pour réparer une dalle (chapes ou réparations), la couche d'accrochage peut être posée après une période de 48 heures sans précipitations suivant l'enlèvement des matériaux de cure et de toute eau stagnante sur la dalle.

Résumé des délais à respecter pour une dalle existante :

- Correction à l'enrobé
  - après le bétonnage des réparations de dalle : au moins 7 jours de cure plus 24 heures sans précipitations;
- Couche d'accrochage :
  - après le bétonnage des réparations de dalle : au moins 7 jours de cure plus 24 heures sans précipitations;
  - après le bétonnage des côtés extérieurs ou celui d'un joint de tablier : au moins 7 jours de cure plus 24 heures sans précipitations;
  - après la correction avec mortier : au moins 24 heures de cure plus 24 heures sans précipitations;
  - après la correction au moyen d'un béton de type XVI-15 : 24 heures de cure plus 48 heures sans précipitations;
  - après la correction au moyen d'enrobé : pas de délai, mais les surfaces d'enrobé doivent être propres et sèches;
  - après le nettoyage complémentaire : moins de 48 heures;
- Membrane d'étanchéité :
  - après la pose de la couche d'accrochage : entre 12 et 24 heures;
  - avant la pose de l'enrobé : 3 jours maximum.

<u>Périodes autorisées – dalle neuve</u>

Les périodes autorisées au CCDG pour la pose de la membrane d'étanchéité d'une dalle neuve dépendent de la localisation géographique du pont. Ces périodes sont du 15 mai au 1er novembre pour un pont situé dans la zone 1 et

du 15 mai au 15 octobre pour un pont situé dans les zones 2 ou 3. Les conditions minimales préalables à la pose exigées dans le CCDG ne sont généralement pas respectées en dehors de ces périodes. Il se peut tout de même que des conditions météorologiques exceptionnellement favorables permettent la pose de la membrane peu après la fin de la période autorisée comme il se peut également que l'inverse se produise, c'est-à-dire qu'il ne soit pas approprié d'effectuer la pose vers la fin de la période autorisée en raison de conditions météorologiques exceptionnellement difficiles.

Le concept des périodes autorisées libère le surveillant d'avoir à porter seul une décision souvent impopulaire tant auprès des autorités du Ministère qu'auprès de l'entrepreneur, puisque cela permet à tous les intervenants d'avoir l'heure juste à cet égard.

La figure 10.3-1 montre la carte utilisée pour départager le territoire québécois selon les trois zones citées précédemment. Il s'agit de la carte qui est utilisée pour la gestion des charges en période de dégel. Outre le fait que celle-ci soit bien connue, son utilisation est très appropriée compte tenu du fait que le dégel est étroitement associé au gel. En effet, une localité sujette à un dégel hâtif (zone 1) subit normalement un gel tardif alors qu'une autre sujette à un dégel tardif (zones 2 et 3) subit normalement un gel hâtif.

Cette carte ne doit pas être confondue avec celle contenue dans le document *Choix des composants d'enrobés pour construction neuve ou reconstruction* utilisé pour la sélection des caractéristiques du bitume. Cette carte comprend elle aussi, trois zones qui sont par contre fort différentes de celles employées pour la gestion des charges en période de dégel.



Figure 10.3-1 Zones associées au dégel

Période autorisée – dalle existante

Dans le cas d'une dalle existante, l'exigence relative aux périodes autorisées s'applique également mais de façon indirecte, puisqu'elle est plutôt liée à l'enlèvement du revêtement par décapage. En effet, l'enlèvement du pavage ne doit être permis que si la pose de la membrane peut se faire avant la fin de la période autorisée. Cette façon de faire est justifiée, car une fois le revêtement enlevé, il ne serait pas raisonnable de poser un pavage temporaire sous prétexte que la période autorisée pour l'installation de la membrane est écoulée. Sinon, il faudrait en effet refaire le nettoyage des surfaces de la dalle avec tous les efforts que cela implique. Il faut donc, une fois le revêtement enlevé, procéder rondement aux travaux afin de pouvoir poser la membrane dans des conditions convenables.

Conditions météorologiques

La pose de la couche d'accrochage et celle de la membrane d'étanchéité ne sont permises que si la température ambiante et celle du béton, mesurées à l'ombre, sont supérieures à 5 °C et à la hausse. Il est important que la température soit à la hausse afin d'éviter d'arrêter les travaux à tout moment.

Le respect des exigences relatives aux précipitations du CCDG est très important afin d'assurer la meilleure adhérence de la membrane au béton. Le surveillant devrait s'assurer que les probabilités de précipitations au site des travaux sont très faibles, voire inexistantes, pour la durée de la pose de la membrane. Compte tenu des réticences de l'entrepreneur à cesser les travaux à cause des coûts importants qui y sont associés, il ne faudrait pas entreprendre les travaux lorsque les conditions atmosphériques sont instables comme c'est souvent le cas par temps chaud.

Bien qu'il soit interdit au CCDG de commencer la pose de la membrane lors d'une précipitation, il est possible cependant que celle-ci survienne en cours de pose. Si cela se produit, il faut immédiatement cesser toutes les opérations, de préférence avant même que la précipitation ne débute puisqu'il est presque toujours possible de voir venir un orage ou une averse. Mentionnons que le mot « précipitation » inclut la neige fondante ou tout apport d'eau accidentel sur la dalle.

Il faut attendre la fin de la précipitation et une période additionnelle de 24 heures sans précipitations avant de reprendre les travaux.

b) Couche d'accrochage

Le rôle de la couche d'accrochage est de pénétrer les pores du substrat, soit le béton ou l'enrobé de correction, afin d'obtenir un ancrage solide de la membrane.

La couche d'accrochage doit être posée au moins 12 heures et au plus 24 heures avant l'installation de la membrane. Le délai de 12 heures est requis pour s'assurer que la couche d'accrochage est sèche au toucher en tout point de la dalle, particulièrement dans les trous et cavités du béton, afin de diminuer le plus possible l'apparition de poches d'air qui entraîneraient une mauvaise adhérence de la membrane. Ce délai

devrait être augmenté si, au terme de la période de 12 heures, il reste des zones de dalle où le liant n'est pas entièrement sec. Cela se produit notamment lorsque les conditions météorologiques ou le relief du béton sont marginaux. Le délai de 24 heures est, quant à lui, nécessaire pour réduire le plus possible le « salissage » de la couche d'accrochage avant la pose de la membrane. Mentionnons qu'un liant n'est pas entièrement sec tant que le pouce reste taché après une forte pression sur la dalle.

La couche d'accrochage utilisée doit être celle spécifiée par le fabricant de la membrane d'étanchéité. Le liant d'accrochage qui sert lors des travaux d'enrobé à chaud ne doit pas être employé comme couche d'accrochage de la membrane. Dans le cas d'une dalle existante, la couche d'accrochage doit être à base d'eau pour ne pas interférer chimiquement avec les résidus bitumineux qui peuvent rester imprégnés dans les pores du béton à la suite du nettoyage des surfaces ou encore, avec l'enrobé employé pour la correction des surfaces de dalle. Mentionnons que la couche d'accrochage doit également être à base d'eau dans le cas où la membrane est posée à la suite de l'enlèvement d'un enrobé temporaire mis en place sur une dalle neuve; en effet, il peut aussi rester des résidus bitumineux une fois le nettoyage de dalle effectué.

La couche d'accrochage est normalement posée au moyen d'un pistolet pneumatique. L'entrepreneur doit protéger contre les éclaboussures les surfaces non recouvertes de membrane et les véhicules circulant à proximité. L'utilisation de toiles ou de tout autre matériau approprié peut être requise lorsque la vitesse du vent devient importante. Un équipement d'épandage muni d'une jupe, ou encore un rouleau manuel, est une solution de remplacement à l'emploi de toiles. La pose manuelle au moyen d'un rouleau est par contre exigée en tout temps le long des bordures sur une largeur minimale de 600 mm. Cette pose au rouleau près des bordures vise à éviter de les salir de liant d'accrochage, puisqu'il est très difficile, voire impossible, de bien nettoyer le béton tâché de bitume après coup.

Il est important de s'assurer que la couche d'accrochage est appliquée uniformément sur toutes les surfaces; un épandage en peigne ou en bandes non contiguës n'est pas considéré comme un épandage uniforme. Si cela se produit, l'entrepreneur doit ajouter du liant et brosser manuellement l'ensemble des surfaces de façon à avoir du liant d'accrochage en tout point de la dalle selon le taux de pose exigé. Le contrôle du taux de pose se fait en comparant la quantité de liant utilisée pour couvrir une superficie connue de dalle par rapport à celle qui aurait dû être employée (taux de pose exigé multiplié par la superficie). Une trop grande quantité de liant augmente les risques d'apparition de poches d'air sous la membrane alors qu'une quantité trop faible diminue l'adhérence de la membrane.

Si la couche d'accrochage récemment posée est délavée par la pluie, c'est-à-dire lorsque le bitume est entraîné par l'eau vers les points bas du tablier, il faut refaire la pose de la couche d'accrochage après avoir nettoyé les zones de dalle où il y a eu accumulation de liant. Bien qu'il ne soit probablement pas nécessaire de respecter de nouveau un délai de 24 heures sans précipitations, il serait tout de même requis de consulter le fabricant de la membrane à ce sujet.

c) Membrane d'étanchéité

Équipements de pose

Les équipements de chauffe autorisés sont le chalumeau manuel à buse simple utilisé avec des rouleaux de membrane de 8 m de longueur, et un équipement de pose mécanisé à un ou deux rouleaux à la fois, utilisé avec des rouleaux de membrane de 200 m. Ces équipements fonctionnent tous au propane. Les équipements de pose mécanisés sont de deux types, soit à air chaud ou à buses multiples; ce dernier type comprend généralement un préchauffage à l'infrarouge. Les équipements de pose mécanisés acceptés sont listés dans le devis spécial. Mentionnons que les équipements sont la propriété de firmes spécialisées qui en assurent elles-mêmes le fonctionnement sur le chantier.

L'entrepreneur doit se servir d'un équipement de pose mécanisé lorsque cela est exigé dans le devis spécial; de plus, un équipement de plus petit gabarit de type « Mini-Macaden 1000 » doit être utilisé près des bordures lorsqu'un équipement mécanisé standard plus imposant n'est pas adapté pour installer la première bande de membrane adjacente aux bordures. En outre, mentionnons qu'il arrive parfois que le devis spécial exige que la pose mécanisée de la membrane se fasse au moyen de la « Mini-Macaden 1000 » sur l'ensemble de la dalle pour des surfaces inférieures à 200 m^2 avec un DJMA (débit journalier moyen annuel) d'au moins 2500. Par contre, pour les surfaces supérieures à 200 m^2, lorsque le devis spécial exige une pose mécanisée, l'entrepreneur doit utiliser des équipements standards qui sont plus complets que la « Mini-Macaden 1000 » car cette dernière n'est pas munie d'un système de préchauffe pour la dalle et d'un rouleau à maroufler pour mieux presser la membrane sur la dalle. Enfin, mentionnons que, pour les autres cas non imposés au devis spécial, le chalumeau manuel seul est utilisé sur les dalles de faible superficie.

Les avantages associés à un équipement de pose mécanisé sont nombreux; citons notamment l'absence quasi complète de joints transversaux qu'entraîne l'utilisation de rouleaux de 200 m, une chauffe plus élevée et plus uniforme, une meilleure adhérence découlant du rouleau à maroufler intégré, une moins grande sensibilité à un relief de dalle et à des conditions météorologiques marginaux, une cadence de pose élevée et, aspect non négligeable, une surveillance plus facile. Il est en effet possible d'effectuer la mise en place d'environ 3 000 m^2 de membrane par quart de travail de 10 heures lorsqu'un équipement de pose mécanisé à deux rouleaux est utilisé. La surveillance, quant à elle, est plus facile parce qu'il n'y a généralement qu'un seul équipement en marche sur la dalle. Compte tenu de ces avantages, le surveillant se doit d'accepter toute demande de l'entrepreneur visant à employer ce type d'équipement même si le devis spécial n'en fait pas mention.

Paramètres de soudage

De façon à obtenir en tout temps un filet de bitume fondu d'au moins 20 mm devant le rouleau de membrane et un débordement de bitume le long des joints longitudinaux, les

paramètres de soudage doivent être ajustés en fonction des conditions météorologiques et de l'état des surfaces à recouvrir.

Le paramètre de soudage le plus important est la vitesse de pose. Celle-ci doit être réduite lorsque le relief de la dalle est marginal (plus rugueux), la pente transversale prononcée, le vent fort ou la température tout juste au-dessus du minimum requis. En fait, tout manque d'uniformité de la chauffe sur la largeur du rouleau de membrane est une indication sérieuse qu'il faut réduire la vitesse de pose afin de respecter les exigences relatives à la présence du filet de bitume fondu et au débordement de bitume aux joints longitudinaux.

L'équipement de pose mécanisé employé à une vitesse trop élevée entraîne l'absence partielle ou complète du débordement de bitume sur le côté haut du rouleau. La pose effectuée au moyen du chalumeau manuel peut entraîner un problème similaire; un bon opérateur ajuste alors le mouvement de va-et-vient du chalumeau à la base du rouleau afin d'obtenir le filet de bitume fondu exigé. En effet, l'opérateur chauffe un peu plus du côté haut du rouleau et du côté d'où provient le vent en variant la distance entre la buse du chalumeau et la membrane, la vitesse de déplacement ainsi que l'orientation et l'inclinaison du chalumeau le long du rouleau.

L'équipement de pose mécanisé a une aire de chauffe généralement bien abriée du vent. Bien que ce soit évidemment avantageux par temps venteux, cela gêne cependant l'observation du filet de bitume fondu devant le rouleau. Dans ce cas, le surveillant peut se contenter de s'assurer qu'il y a débordement du bitume le long des joints longitudinaux; cette façon de faire est acceptable étant donné que la chauffe ne peut qu'être uniforme sur toute la largeur du rouleau.

À titre d'information, la vitesse normale de pose de la membrane mise en place au moyen d'un chalumeau manuel se situe aux environs de 2 m/min. Lorsqu'on utilise un équipement de pose mécanisé, la vitesse de pose est normalement de 4 à 5 m/min. Dans tous les cas, cette vitesse est moindre lorsque les conditions de chantier sont difficiles (vent, relief, température, pente).

Début de la pose

La pose d'une membrane sur un pont se fait un peu comme celle de bardeaux sur la toiture d'une maison, c'est-à-dire à partir du point bas de la surface à couvrir. La pose doit donc s'effectuer à partir du point bas du profil longitudinal et à partir de chaque point bas du profil transversal, soit généralement au pied d'un chasse-roue, d'un trottoir, d'une piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle, d'une glissière ou d'une bande médiane; le chevauchement des travaux réalisés de part et d'autre du point haut transversal se fait vis-à-vis de ce dernier. Mentionnons qu'il peut arriver, comme dans le cas d'un pont avec dévers où les travaux sont réalisés en phases, que le point bas transversal ne se situe pas au pied d'une bordure, mais plutôt vis-à-vis d'un changement de phases.

Joints transversaux et longitudinaux

La membrane d'étanchéité est fabriquée en laissant une largeur de 75 mm sans gravillons sur un de ses côtés. Cette largeur, qui est située du côté haut de la pente transversale de la dalle, sert surtout de guide pour assurer le chevauchement demandé entre deux bandes de membrane et pour un alignement plus facile du rouleau lors de la pose.

Les joints transversaux doivent être décalés les uns par rapport aux autres de manière à ne pas superposer plus de trois épaisseurs de membrane en un même point. En effet, puisque les joints sont le point faible de tout système d'étanchéité, il est important d'éviter de concentrer tous les joints au même endroit. Cette pratique permet aussi de conserver le niveau du dessus de la membrane le plus bas possible, ce qui réduit les risques de mauvais profil de l'enrobé. De plus, cela aide à diminuer les risques de bris de membrane lors de l'entretien futur de l'enrobé, notamment par planage.

Les joints longitudinaux mal soudés, c'est-à-dire ne présentant pas de débordement de bitume, doivent être soudés de nouveau avant la pose de la bande de membrane suivante, puisque la chaleur fournie lors de la pose de cette dernière est insuffisante pour corriger un joint effectué sans débordement de bitume.

Le fabricant de membrane IKO a cru bon de doter sa membrane d'un feuil d'aluminium d'environ 150 mm de largeur à la fin de chaque rouleau afin que les joints transversaux aient un chevauchement sans gravillons à l'interface des deux membranes. Le Ministère considère que cette façon de faire n'améliore pas vraiment la qualité du chevauchement, mais il faut s'assurer cependant que le feuil d'aluminium est effectivement enlevé avant de recouvrir le joint de la seconde bande de membrane.

Pour faciliter la transition entre deux phases de travaux séparées par la saison hivernale, une étroite lisière de membrane à l'envers ou du papier de construction peuvent être déposés en bordure de la dernière bande de membrane posée. Cette façon de faire permet le printemps venu d'enlever plus facilement le revêtement vis-à-vis du matériau temporaire pour réaliser le chevauchement transversal de la membrane entre deux phases de travaux, et ce, sans endommager la membrane à conserver.

Pose manuelle

Le rouleau de membrane est normalement déroulé, aligné et roulé de nouveau des extrémités jusqu'au centre selon l'axe longitudinal de la dalle. L'opérateur se place sur la dalle à recouvrir et recule tout en déroulant le rouleau de membrane. Cette façon de faire permet de voir le filet de bitume fondu et d'obtenir une pose bien droite ainsi que les chevauchements requis sur toute la longueur du rouleau.

Une première bande, généralement de largeur réduite (500 mm), est posée le plus près possible le long des trottoirs, piste cyclable en surépaisseur au-dessus d'une dalle, chasse-roues et glissières ainsi que des drains; une distance maximale de 15 mm doit être respectée entre ceux-ci et la membrane. Il est recommandé d'utiliser une première

bande de largeur réduite pour faciliter le travail près d'éléments en courbe afin de minimiser les plis dans la membrane.

Puisqu'il n'est pas possible de marouffler (coller en appliquant une pression) une membrane posée manuellement, le surveillant se doit d'être vigilant et de contrôler de façon étroite les travaux, notamment au niveau des paramètres de soudage cités précédemment.

Pose mécanisée

L'aire de travail de l'équipement de pose mécanisé doit se prolonger sur une certaine distance au-delà des surfaces à recouvrir afin de permettre à l'équipement d'effectuer la pose de la membrane sur les surfaces situées aux limites du périmètre de pose. Ce prolongement, qui exige s'il y a lieu la réalisation des approches avant de procéder à la pose de la membrane, doit être aussi propre que possible pour éviter que les pneus de l'équipement ne se salissent lors des travaux et ne contaminent pas le liant d'accrochage sur la dalle prête à recevoir la membrane.

Puisque l'équipement de pose mécanisé ne peut pas s'approcher à moins d'un mètre des joints de tablier, pour éviter la formation de plissements dans la membrane, l'entrepreneur doit utiliser un chalumeau manuel pour terminer le travail. Il se doit de procéder rapidement et avant le durcissement du bourrelet de bitume fondu laissé par l'équipement. En effet, il faut étendre rapidement ce bourrelet de bitume afin d'éviter tout relief inapproprié sous la membrane. On procède ensuite à la pose de la membrane tout en s'assurant d'avoir une distance maximale de 15 mm entre le joint de tablier et la membrane. Le surveillant doit, pour plus de détails, se référer aux instructions indiquées précédemment pour la pose manuelle.

Bien que l'efficacité du rouleau à marouffler intégré à l'équipement soit très élevée, il faut prêter une attention spéciale à la lisière de 75 mm de membrane sans gravillons. En effet, le rouleau à marouffler doit avoir la même largeur que la membrane, et la rondelle de rive du rouleau doit servir exclusivement au marouflage de la lisière sans gravillons, puisque cette dernière a une épaisseur plus faible que celle des surfaces avec gravillons attenantes. Un rouleau bien conçu marouffle efficacement la lisière sans gravillons tout en évitant de se salir au contact du bitume chaud qui déborde du joint longitudinal.

Solin

Une fois terminée la pose de la membrane, un solin doit être mis en place le long des bordures. Il faut utiliser le matériau spécifié dans le devis spécial, car il est jusqu'à présent le seul connu à ne pas s'affaisser lors de la pose, permettant donc la mise en forme telle qu'elle est exigée, tout en n'ayant pas tendance à remonter à la surface de l'enrobé lors de la pose de ce dernier.

Le solin est généralement mis en place au moyen d'outils manuels. La température du matériau doit être d'au moins 20 ºC afin qu'il ait la malléabilité souhaitable lors de la pose.

Compte tenu de la faible épaisseur d'enrobé posé à proximité des drains et du comportement à long terme problématique de l'enrobé près des épaulements des joints de tablier, il ne faut pas qu'un solin soit mis en place près de ces équipements. Cependant, dans le cas où un espace libre existerait entre un drain et une bordure, cette espace devrait être comblé au moyen du même matériau que celui utilisé pour le solin afin d'éviter la formation d'un vide à cet endroit.

Le surveillant doit veiller à ce que les trous d'évacuation situés sur le côté des drains ne soient pas obstrués par le solin afin de permettre le libre passage des eaux ruisselant à l'interface de la membrane et de l'enrobé.

Poches d'air

Le surveillant doit vérifier la présence ou non de poches d'air sous la membrane. Les poches d'air sont surtout présentes sous une membrane posée au chalumeau manuel à cause principalement du manque d'uniformité de la chauffe et de l'absence de marouflage. Lorsque la membrane est posée au moyen d'un équipement mécanisé, la formation de poches d'air est beaucoup moins fréquente mais est tout de même possible.

Les poches d'air sont définies comme une zone de la membrane qui n'a aucune adhérence au substrat; elles sont détectées en raison du gonflement de la membrane à cet endroit par rapport aux surfaces de membrane environnantes. Les poches d'air d'une membrane posée sur des surfaces de béton peuvent se développer plus facilement lorsqu'elles sont exposées au soleil intense à cause de la vaporisation de l'eau s'échappant du béton.

La vérification des poches d'air se fait en trois temps. Il faut d'abord vérifier la présence de poches d'air immédiatement après la pose de la première bande de membrane près des trottoirs, pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle, chasse-roues et glissières. L'entrepreneur est autorisé à poursuivre la pose des autres bandes de membrane après la correction des anomalies décelées sur cette première bande. Cette vérification est particulièrement importante surtout pour une dalle existante, compte tenu du relief de la dalle souvent marginal à ces endroits, et surtout lorsque la pose se fait avec un chalumeau manuel.

La deuxième vérification a lieu immédiatement après la fin de la pose de chaque autre bande de membrane. La troisième vérification se fait tout juste avant la pose de l'enrobé, surtout si la membrane a été exposée quelques jours à un soleil intense.

Bien qu'il soit possible de vérifier la présence de poches d'air en pressant avec les doigts le dessus d'une surface suspecte de la membrane, il est plus facile de le faire en frappant doucement la membrane avec un marteau de maçon. La méthode est similaire à celle employée pour sonder le béton, puisqu'elle associe une poche d'air à un son caractéristique. Il est possible de repérer de cette manière des surfaces de très petites dimensions. Comme pour la vérification du béton, une chaîne peut être utilisée pour couvrir de grandes surfaces; une fois une zone suspecte repérée, il suffit de finaliser le

travail à l'aide d'un marteau de maçon. Une peinture en aérosol est couramment utilisée pour marquer le contour des poches d'air.

Comme mentionné précédemment, la formation de poches d'air est plus fréquente sur des membranes ayant été posées manuellement mais les vérifications doivent quand même être faites sur les membranes posées au moyen d'un équipement mécanisé. Un mauvais ajustement des buses de chauffage ou même le bris d'une de ces buses lors de la mise en œuvre est possible, ce qui entraîne la présence de poches d'air longilignes suivant le sens des rouleaux.

Les poches d'air doivent être réparées conformément aux exigences du CCDG. Il est important de repérer et de faire réparer les poches d'air, même celles de petites dimensions, puisqu'elles constituent autant d'amorces à la formation de plus grandes poches d'air.

Plissements

Le surveillant doit vérifier la présence de plissements sur la membrane d'étanchéité. Cette vérification est plus facile à faire que celle concernant les poches d'air, puisque ces plissements sont très visibles. Les plissements sont définis comme une zone de membrane non lisse. Mentionnons que l'adhérence de la membrane est plus que douteuse au droit des plissements.

La vérification des plissements a lieu immédiatement après la fin de la pose de la membrane. Il faut prêter une attention spéciale aux surfaces près des drains et des joints de tablier ainsi que dans le cas des dalles en courbe. Les plissements doivent être réparés conformément aux exigences du CCDG.

Circulation de chantier

Le surveillant devrait interdire toute circulation de véhicules sur la membrane, même ceux utilisés par l'entrepreneur, jusqu'à la mise en place de l'enrobé à chaud. Cette mesure s'impose afin d'éviter de salir ou d'endommager la membrane.

Drain d'interface

Dans le cas d'un pont neuf ayant des drains d'interface, le surveillant doit s'assurer, après la pose de la membrane et avant celle du revêtement, que l'entrepreneur a percé la membrane au droit des drains d'interface et qu'il a enlevé tous les débris ou tout le bitume qui auraient pu y pénétrer. Mentionnons qu'un drain d'interface est prévu en amont d'un joint de tablier d'une culée galerie afin d'évacuer l'eau circulant à l'interface de la membrane et du pavage; sans ce drain, l'eau viendrait s'accumuler près du joint et endommagerait de façon prématurée l'enrobé et la dalle sous-jacente.

10.4 MEMBRANE AUTOCOLLANTE POUR JOINTS

Compte tenu de son usage, la membrane autocollante pour joints doit être mise en place avec précaution. Dans le cas des joints dalle sur culée et des joints d'articulation des portiques, la membrane lisse (sans gravillon) sert à empêcher le collage du béton de deux éléments du pont. Il s'agit alors de s'assurer que la membrane est bien mise en place sur les surfaces indiquées aux plans, qu'elle adhère correctement pour ne pas se déplacer jusqu'au et pendant le bétonnage du deuxième élément de pont et qu'elle ne présente aucun pli de façon à ne pas nuire au mouvement relatif entre les éléments de pont.

Par contre, dans le cas où la membrane sert à étancher des joints ou des fissures, elle doit être posée avec autant d'attention que l'on porte à la pose de la membrane d'étanchéité des dalles. Il faudra entre autres retirer s'il y a lieu, le matériau de cure de la surface où la membrane doit être collée.

Le surveillant doit se référer à la partie de ce chapitre portant sur la couche d'accrochage de la membrane d'étanchéité pour connaître les précautions à prendre relativement à la pose de la couche d'accrochage de la membrane autocollante pour joints.

Le délai suivant le bétonnage sur place d'éléments avant de poser la membrane autocollante pour joints est le même que celui indiqué précédemment pour la membrane d'étanchéité, à savoir 14 jours (soit 7 jours de cure et suivant l'enlèvement complet des matériaux de cure, 6 jours de séchage à l'air libre et, finalement, une période d'au moins 24 heures sans précipitations) ou minimalement de 10 jours (soit 7 jours de cure et suivant l'enlèvement complet des matériaux de cure, une période d'au moins 3 jours (72 heures) consécutifs sans précipitations) lorsque la couche d'accrochage peut être posée tout de suite suivant le dernier délai (24 heures ou 3 jours selon le cas) sans précipitations. Par contre, pour des éléments en béton préfabriqués, le délai n'est que de 24 heures sans précipitations puisque la cure est alors terminée depuis quelque temps.

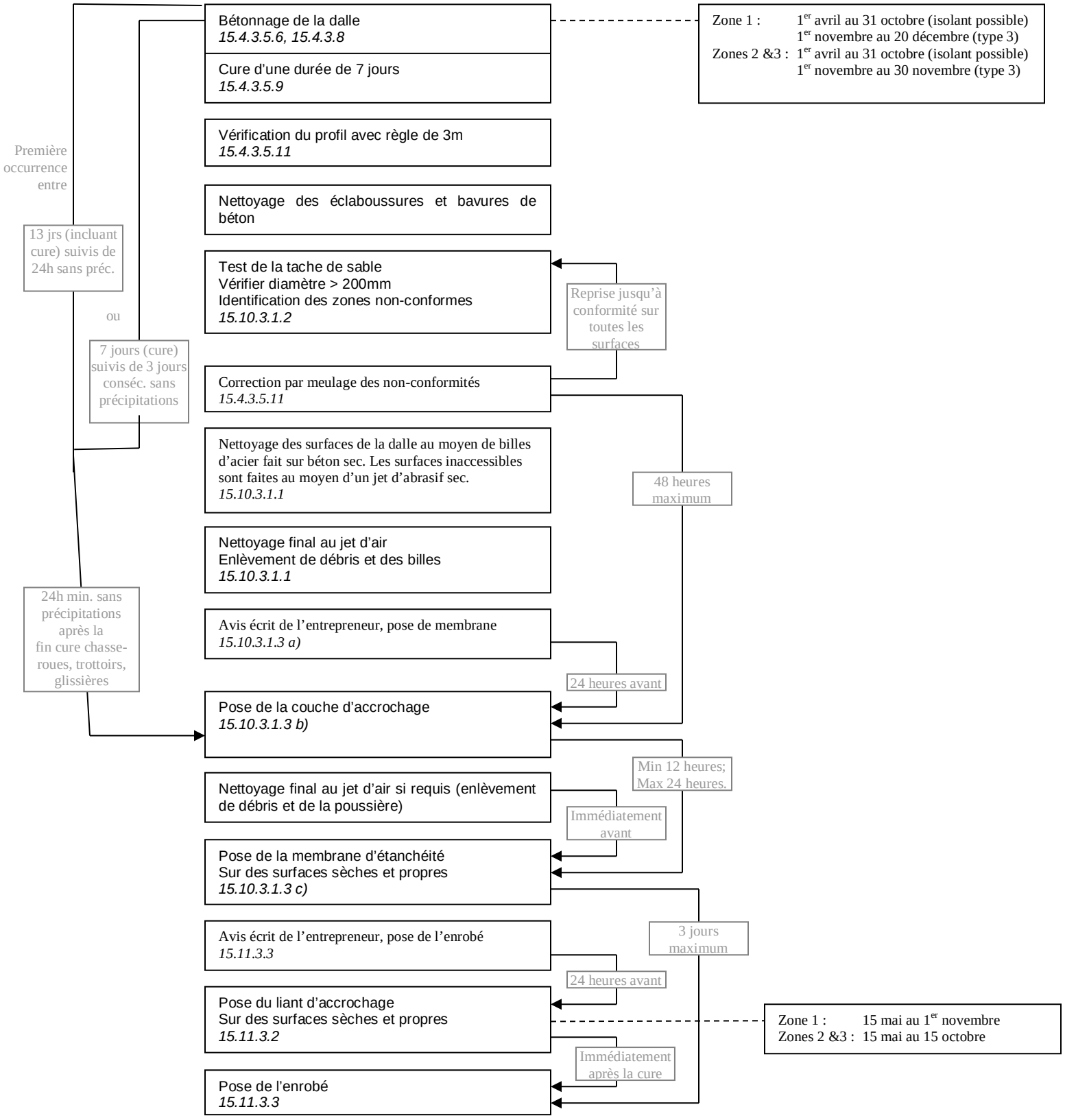
Comme pour la membrane d'étanchéité, il faut aussi enlever les poussières et les débris immédiatement avant la pose de la membrane autocollante. Ce nettoyage est généralement réalisé au moyen d'un jet d'air. Bien que l'utilisation d'un jet d'air ne soit pas obligatoire (le jet d'eau est permis) pour effectuer ce nettoyage, il est préférable au jet d'eau puisqu'il n'y a alors aucun délai d'attente entre le nettoyage et la pose de la membrane. L'air doit être exempt d'huile afin de ne pas nuire à l'adhérence de la membrane; une façon simple de vérifier l'absence d'huile est de diriger le jet sur un chiffon blanc.

Immédiatement avant la pose, l'entrepreneur doit chauffer les surfaces de béton à recouvrir de membrane au moyen d'un chalumeau au propane afin d'enlever toute trace d'humidité qui pourrait nuire à l'adhérence de la membrane autocollante. Cette chauffe, bien que beaucoup moins prononcée que celle demandée pour la membrane

d’étanchéité des dalles, demeure tout de même importante et le surveillant doit s’assurer qu’elle est exécutée avec le plus grand soin.

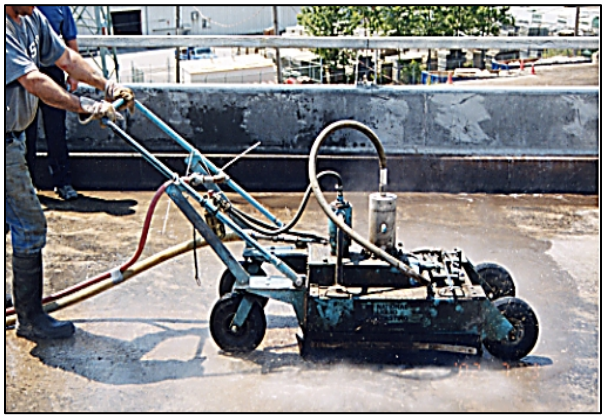
Finalement, il faut rappeler, comme l’explique la section 10.1 de ce chapitre, que seules les membranes en feuilles préfabriquées de plus de 2,5 mm d’épaisseur et qui sont conformes à la norme 3702 sont autorisées par le Ministère.

Étapes et délais pour la mise en œuvre de la membrane d'étanchéité et du revêtement en enrobé sur une dalle neuve



PHOTOGRAPHIES

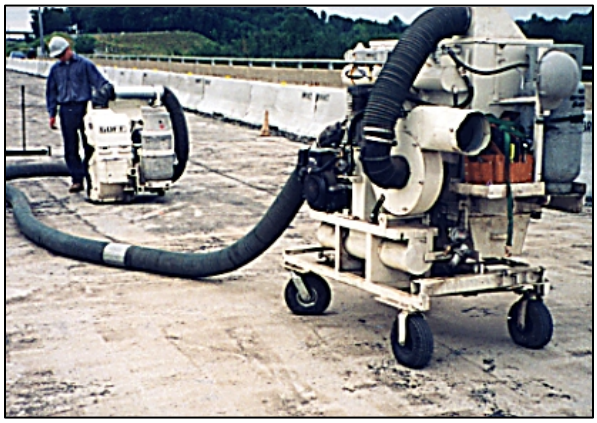
MEMBRANE D'ÉTANCHÉITÉ



Nettoyage de base d'une dalle existante (eau sous pression)



Test de la « tache de sable »



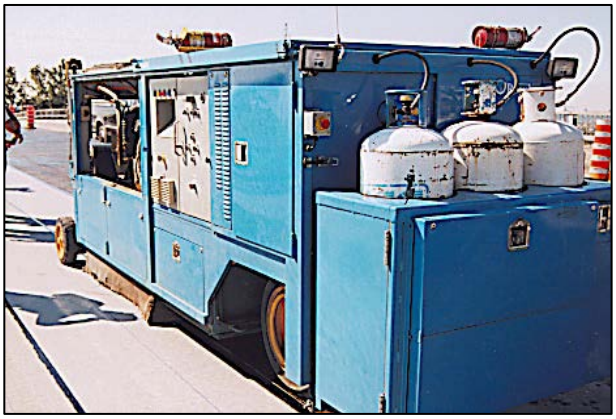
Nettoyage d'une dalle neuve (billes d'acier)



Petit équipement de pose mécanisé utilisé près des bordures



Chalumeau à buse simple



Équipement de pose mécanisé



Vérification de l'adhérence de la membrane (chaîne)

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 10 – MEMBRANE D'ÉTANCHÉITÉ ET MEMBRANE AUTOCOLLANTE POUR JOINTS

NOTES

- Membrane d'étanchéité : dessus de dalle
- Membrane autocollante pour joints (lorsqu'indiqué aux plans et devis) : joints entre éléments préfabriqués en béton, joints de construction, joints de contrôle et fissures sur surfaces remblayées (voir article 15.4.3.5.11 du CCDG)

MATÉRIAUX

- Membrane d'étanchéité : Norme 3701 du Ministère (voir « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle est disponible sur le site Internet du Ministère.
- Membrane autocollante pour joints : Les membranes autocollantes pour joints acceptées par le Ministère sont celles conformes à la norme 3702 du chapitre 3 du *Tome VII – Matériaux* de la collection Normes – Ouvrages routiers du Ministère.)

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

- L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport.*

MEMBRANE D'ÉTANCHÉITÉ

MISE EN ŒUVRE

Nettoyage des surfaces

- Surfaces de béton ou d'acier (dalle, bas des bordures, épaulements des joints de tablier, drains)
- Éviter de salir les surfaces une fois le nettoyage en cours ou terminé
- Dalle neuve (ou après l'enlèvement de l'enrobé temporaire)
  - Enlever les éclaboussures et bavures de béton avant de nettoyer
  - Après enlèvement d'un enrobé temporaire : enlever particules d'enrobé et film de bitume
  - Moins de 48 heures avant la pose de la couche d'accrochage
  - Surfaces à nettoyer : sèches
  - Au moyen de billes d'acier (équipement sur roues)
  - Surfaces inaccessibles : jet d'abrasif sec (ou meulage si pas de polissage excessif)
- Dalle existante
  - Nettoyage de base
    → Enlever toute matière étrangère (et matière cimentaire ou agrégat mal adhérés)
    → Immédiatement après l'enlèvement du revêtement existant

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

→ Au moyen d'un jet d'abrasif humide (sans huile) ou d'un jet d'eau haute pression

→ Si résidus bitumineux difficiles à enlever

- Équipement sur roue (eau haute pression de type *spin jet* : 30 à 40 MPa ou 4 500 à 6 000 lb/po^2)
- Planche d'essai (56 à 84 MPa ou 8 400 à 12 600 lb/po^2)

→ Nettoyage ou rinçage à l'eau sous pression (pression 15 MPa) des surfaces à faire après le nettoyage de base

- Nettoyage complémentaire (sur toute la dalle)
  → Selon les indications pour une dalle neuve
  → Après la cure des réparations (béton) et des corrections (mortier) de la dalle
  → Moins de 48 heures avant la pose de la couche d'accrochage
- Nettoyage au jet d'air (sans huile)
  → Immédiatement avant la pose de la couche d'accrochage
  → Immédiatement avant la pose de la membrane d'étanchéité

Correction des surfaces

– Test de la « tache de sable » (mesure du relief)
- Fournisseur : Groupe Qualitas ou DGLC du Ministère
- Diamètre minimal : 200 mm (dalle neuve), 165 mm (dalle existante)
- Surfaces sèches et propres
- Test : vider sable en cône, faire cercle avec rondelle (parallèle à dalle et au niveau de l'aspérité la plus prononcée), mesurer selon 2 directions perpendiculaires
- Dalle neuve
  → Après enlèvement des éclaboussures et bavures de béton
  → Avant nettoyage des surfaces
- Dalle existante
  → Après nettoyage de base

– Correction des surfaces
- Dalle neuve
  → Si non conforme après léger meulage n'affectant pas l'enrobage des armatures : voir l'article 7.10 du CCDG
  → Pas de correction à l'enrobé
- Dalle existante
  → Après nettoyage de base préalable des surfaces (jet d'abrasif humide ou jet d'eau haute pression)
  → Si non conforme : meuler (surfaces indiquées par le surveillant) et/ou corriger les surfaces (mortier ou enrobé)
    - Mortier
      - Pour petites surfaces
      - Au moins 48 heures avant la pose de la couche d'accrochage
      - Trait de scie de 10 mm et démolition de béton sur 15 mm avec marteau 7 kg
      - T° minimale du béton : 5°C
      - Préparation des surfaces selon l'article 15.4.3.5.1 du CCDG

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

        - Matériau : Norme 3801 du Ministère (vérifier « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées ») cette liste est disponible sur le site Internet du Ministère.
        - 20 MPa minimum à 24 heures
        - Cure : 24 heures (produit de cure formant membrane translucide avec colorant fugace)
        - Vérifier adhérence des surfaces corrigées
    - Enrobé (EC-5 ou EC-10)
        - Pour grandes surfaces
        - Consulter concepteur pour charge morte additionnelle
        - Joints de tablier existants : attention à la hauteur des épaulements
        - Délai d'attente après réparation de dalle : 7 jours de cure + 24 heures sans précipitations
        - Délai d'attente si aucune réparation de dalle : 24 heures sans précipitations
        - Épandage uniforme du liant d'accrochage (taux résiduel de 0,20 ℓ/m^2: émulsion cationique ou anionique)
        - Épaisseur minimale : 15 mm
        - Compaction à faire immédiatement après épandage de l'enrobé avec rouleau à pneus
        - Maintenir un minimum de 60 mm d'enrobé au-dessus de la membrane

Pose de la membrane d'étanchéité

- Délais, période autorisée et conditions météorologiques
    - Avis de 24 heures à demander
    - Rappel : 3 jours maximum entre la pose de la membrane et celle de l'enrobé à chaud (voir article 15.11.3.3 du CCDG)
- Période sans précipitations : après enlèvement matériaux de cure et eau stagnante
    - Délais à respecter – dalle neuve (voir aussi schéma en fin de chapitre)

      → Couche d'accrochage :
        - Après le bétonnage de la dalle : au moins 13 jours (7 jours de cure plus 6 jours de séchage) plus 24 heures sans précipitations avec un minimum de 10 jours si pas de précipitations après la fin de la cure
        - Après le bétonnage des côtés extérieurs ou celui d'un joint de tablier : au moins 7 jours de cure plus 24 heures sans précipitations
        - Après le nettoyage des surfaces consécutif à l'enlèvement de l'enrobé temporaire : 24 heures sans précipitations
        - Après le nettoyage : moins de 48 heures

      → Membrane d'étanchéité :
        - Après la pose de la couche d'accrochage : entre 12 et 24 heures
        - Avant la pose de l'enrobé : 3 jours maximum
    - Délais à respecter – dalle existante

      → Correction à l'enrobé
        - Après le bétonnage des réparations de dalle : au moins 7 jours de cure plus 24 heures sans précipitations
        - Couche d'accrochage :
        - Après le bétonnage des réparations de dalle : au moins 7 jours de cure plus 24 heures sans précipitations

- Après le bétonnage des côtés extérieurs ou celui d'un joint de tablier : au moins 7 jours de cure plus 24 heures sans précipitations
- Après la correction avec mortier : au moins 24 heures de cure plus 24 heures sans précipitations
- Après la correction au moyen d'un béton de type XVI-15 : 24 heures de cure plus 48 heures sans précipitations (température > 10 °C pendant 7 jours)
- Après la correction au moyen d'un béton à prise rapide (voir devis spécial) : 4 heures de cure plus 4 heures sans précipitations (température du béton > 10°C pendant 7 jours)
- Sur une dalle sans réparation : 24 heures sans précipitations
- Après la correction au moyen d'enrobé : pas de délai (surface sèche)
- Après le nettoyage complémentaire : moins de 48 heures

→ Membrane d'étanchéité :

- Après la pose de la couche d'accrochage : entre 12 et 24 heures
- Avant la pose de l'enrobé : 3 jours maximum

- Période autorisée – dalle neuve
  → Zone 1 (sud du Québec) : 15 mai au 1er novembre
  → Zones 2 ou 3 : 15 mai au 15 octobre
- Période autorisée – dalle existante (voir article 15.11.3.1.1 du CCDG)
  → Zone 1 (sud du Québec) : 15 mai au 1er novembre
  → Zones 2 ou 3 : 15 mai au 15 octobre
- Conditions météorologiques
  → T° > 5 °C et à la hausse à l'ombre (air + béton)
  → Pas de pose s'il pleut (arrêter travaux lorsque lorsqu'une précipitation survient lors de la pose)

– Couche d'accrochage
- Produit spécifié par le fabricant de la membrane (voir « Liste des matériaux relatifs au béton éprouvés par le Laboratoire des chaussées ») cette liste est disponible sur le site Internet du Ministère.
- Couche d'accrochage à base d'eau : dalle existante (cela devrait aussi être le cas pour une dalle neuve : après décapage de l'enrobé temporaire)
- Délais : 12 heures minimum (augmenter ce délai si liant pas sec dans dépressions : test du pouce) et 24 heures maximum avant membrane
- Protéger surfaces adjacentes contre éclaboussures (nettoyer surfaces salies)
- Utiliser rouleau le long des bordures (sur 600 mm minimum à partir du bord intérieur de la bordure)
- Taux de pose : 0,15 ℓ/m^2 (avant évaporation du solvant ou de l'eau, épandage uniforme)

– Pose de membrane
- Équipements de pose
  → Chalumeau manuel
  - Petites surfaces ou près des bordures et joints de tablier

  → Équipement de pose mécanisée (si exigé dans le devis)
  - Équipements acceptés listés dans le devis spécial
  - Équipement de petit gabarit près des bordures
- Paramètres de soudage
  → Critères à respecter
  - Filet de 20 mm de bitume fondu

  - Débordement de bitume aux joints longitudinaux
  - Chauffer de nouveau (par le dessous de la membrane) au fur et à mesure les joints sans débordement de bitume

  → Vitesse normale (à réduire si conditions difficiles)
  - Chalumeau : 2 m/min.
  - Équipement de pose mécanisé : 4 à 5 m/min.

- Début de la pose

  → Pose à partir des points bas transversal et longitudinal

  → Respecter distance maximale de 15 mm des bordures
- Joints transversaux et longitudinaux
  - Chevauchements : 75 mm (joint longitudinal) et 150 mm (joint transversal)

  → Décaler les joints transversaux (3 épaisseurs de membrane maximum)

  → Phases de travaux séparées par hiver : voir texte de ce chapitre
- Pose manuelle

  → Première bande de membrane (500 mm) près des bordures

  → Respecter distance maximale de 15 mm des joints de tablier
- Pose mécanisée

  → Prolonger aire de travail pour circulation de l'équipement

  → Garder les roues de l'équipement propres

  → Près des joints de tablier
  - Pose manuelle (1 m)
  - Étendre bourrelet de bitume immédiatement après la pose de chaque bande
  - Éviter plissements près des joints de tablier aux piles (si pas d'arrêt de l'équipement)
- Solin

  → Après la pose de la membrane

  → Température du béton : $>$ 5 °C

  → Produit à utiliser : spécifié dans le devis (T° du produit $>$ 20 °C)

  → Dimensions triangulaires : 15 m X 50 mm

  → Pas de solin à proximité des drains et des joints de tablier

  → Ne pas obstruer les trous des drains
- Poches d'air et plissements

  → Vérifier la présence de poches d'air (marteau ou chaîne), réparer s'il y a lieu
  - Poches d'air : surtout par temps chaud et ensoleillé ainsi que pose manuelle
  - Après la pose de la première bande de membrane
  - Après la pose de chaque autre bande de membrane

  → Vérifier la présence de plissements, réparer s'il y a lieu
  - Réparation : pièce de membrane excédant d'au moins 100 mm le pourtour de la réparation
- Circulation de chantier : interdite une fois la membrane posée
- Drain d'interface

  → Perforer la membrane au droit des drains après la pose de cette dernière

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

MEMBRANE AUTOCOLLANTE POUR JOINTS

- Joints dalle sur culée et joints d'articulation de portiques
  - Pose : sur toute la surface, bien adhérée pour ne pas se déplacer et sans pli
- Joints entre 2 éléments ou fissures (surfaces remblayées)
  - Mêmes précautions que membrane d'étanchéité : lire texte concernant cette membrane
  - Délais à respecter
    - → Béton coulé en place (après le bétonnage de la dalle) : au moins 13 jours (7 jours de cure plus 6 jours de séchage) plus 24 heures sans précipitations avec un minimum de 10 jours si pas de précipitations après la fin de la cure
    - → Béton préfabriqué au moins 24 heures sans précipitations
    - → Nettoyage des surfaces au jet d'eau : au moins 24 heures sans précipitations
  - Nettoyage : au jet d'air (sans huile) ou au jet d'eau
  - Chauffage des surfaces : immédiatement avant la pose de la membrane

CHAPITRE 11

REVÊTEMENT EN ENROBÉ

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **11-1**

NORMES **11-2**

11.1 MATÉRIAUX **11-2**

11.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ **11-3**

11.3 MISE EN ŒUVRE **11-4**

11.3.1 Préparation de la surface déjà recouverte d'enrobé 11-4
11.3.2 Liant d'accrochage 11-10
11.3.3 Enrobé préparé et posé à chaud 11-12

PHOTOGRAPHIES **11-27**

AIDE-MÉMOIRE **11-29**

INTRODUCTION

Le revêtement en enrobé constitue le type de revêtement le plus utilisé sur les routes du Québec; environ 95 % du réseau québécois est en effet recouvert d'un enrobé préparé et posé à chaud. Les dalles de pont, quant à elles, sont presque toutes recouvertes d'enrobé afin de servir de surface de roulement confortable et facilement remplaçable.

Comme le chapitre 13 « Revêtement de chaussée en enrobé » du *Cahier des charges et devis généraux* (CCDG), qui régit la préparation des surfaces, le liant d'accrochage ainsi que l'enrobé préparé et posé à chaud, s'applique surtout aux routes, l'article 15.11 « Revêtement en enrobé » du CCDG est nécessaire pour couvrir la mise en œuvre de l'enrobé sur un pont, neuf ou existant. Cet article renvoie au besoin aux articles pertinents du chapitre 13 tels que ceux relatifs à la formulation, à la fabrication et à l'acceptation des enrobés. Il couvre également l'enlèvement de l'enrobé sur un pont existant.

Puisque les enrobés sur les ponts ne représentent qu'une infime partie du tonnage annuel d'enrobé utilisé au Québec, il est facile de comprendre pourquoi les surveillants affectés aux ponts ne sont pas considérés comme des experts dans ce domaine. Chaque direction générale territoriale a cependant un répondant dans le domaine des enrobés qui a pour mandat de rester à l'affût des nombreux changements qui surviennent chaque année dans ce champ d'activité. Ce répondant doit être consulté avant la réalisation du revêtement d'un pont et il doit être invité au besoin sur le chantier pour aider le surveillant.

Le surveillant doit tout de même avoir un minimum de connaissances dans le domaine des enrobés, puisqu'il conserve la responsabilité technique de son chantier. Cette base technique devrait lui permettre de jouer un rôle actif sur le chantier, de comprendre les problèmes qui surviennent au cours de la réalisation des travaux et même de proposer des solutions. Mentionnons que la Direction générale du laboratoire des chaussées (DGLC) du Ministère donne des cours visant à familiariser le surveillant avec les enrobés.

Le principal défi de l'entrepreneur concernant la réalisation de travaux adéquats de revêtement en enrobé consiste à composer avec des conditions météorologiques défavorables. En effet, les travaux se font habituellement en fin de saison, au moment où pluie et basse température sont fréquemment au rendez-vous. De plus, comme ces travaux se réalisent en un court laps de temps, leur importance peut être à tort minimisée compte tenu des nombreuses autres obligations du surveillant.

Les travaux de revêtement en enrobé doivent être exécutés par un sous-traitant spécialisé dans le domaine; idéalement, il devrait s'agir d'une entreprise bien établie, à qui le Ministère confie aussi la pose de l'enrobé sur la route située de part et d'autre du pont dans le cadre de travaux routiers. Puisque le Ministère n'a aucun contrôle sur le sous-traitant qui est désigné par l'entrepreneur, il peut arriver que ce dernier mandate une firme qui ne fabrique pas elle-même les enrobés; dans ce dernier cas, il faut

s'assurer que le fabricant est mis au courant que les enrobés sont destinés au Ministère afin qu'il fasse les efforts nécessaires pour se conformer à ses exigences. Avant le début des travaux, une rencontre spéciale ou de démarrage avec tous les intervenants impliqués dans les travaux de revêtement d'enrobé est requise afin que les exigences du Ministère et les particularités du projet soient bien comprises.

NORMES

Afin d'alléger le texte, la description complète des normes citées dans le présent chapitre est faite ici. Ces normes sont :

- Norme LC 26-510 : Détermination de la masse volumique in situ des enrobés à l'aide d'un nucléodensimètre
- Norme 4105 du Ministère : Émulsions de bitume

11.1 MATÉRIAUX

Liant d'accrochage

Le liant d'accrochage proposé par l'entrepreneur doit être conforme aux exigences de l'article 13.2 « Liant d'imprégnation ou d'accrochage » du CCDG.

Le liant à utiliser est une émulsion de bitume, c'est-à-dire à base d'eau. Il ne faut pas employer un liant à base de bitume fluidifié qui pourrait causer des dommages à la membrane d'étanchéité, réduire l'adhérence « membrane-enrobé » et produire un saignement. De plus, un liant à base de bitume fluidifié est un produit qui peut être dangereux à manipuler et dommageable pour l'environnement. C'est, entre autres, pourquoi l'utilisation de bitume fluidifié est maintenant formellement interdite au CCDG, que ce soit pour les ouvrages routiers ou pour les ouvrages d'art.

Lorsque les conditions météorologiques sont difficiles, comme cela est souvent le cas au printemps et à l'automne, des liants plus adaptés peuvent être utilisés. Pour tout renseignement à ce sujet, on peut se référer à la partie 11.3.2 « Liant d'accrochage » du présent chapitre.

Enrobé préparé et posé à chaud

L'enrobé préparé et posé à chaud doit être conforme aux exigences de l'article 13.3 « Enrobé préparé et posé à chaud » du CCDG. L'enrobé doit être conforme aussi aux exigences de l'article 15.11 « Revêtement en enrobé » du CCDG pour les types de mélanges à employer ainsi qu'à celles du devis spécial concernant les propriétés du mélange.

Mentionnons tout de même une restriction importante concernant l'enrobé utilisé sur les structures, à savoir l'interdiction d'utiliser des scories d'acier comme granulats (à cause du poids supplémentaire sur l'ouvrage qui en résulterait).

Les propriétés du mélange s'appliquent aux granulats (propriétés intrinsèques et de fabrication), au bitume (classe de performance) et, s'il y a lieu, au mélange lui-même (essai d'orniérage). Ces propriétés sont déterminées en fonction d'un certain nombre de variables, notamment le type de route, le volume de circulation, la localisation géographique du pont; le surveillant ne doit accepter aucune modification à ces propriétés sans avoir d'abord consulté le concepteur.

Un bon enrobé doit être flexible, stable, durable, peu glissant, confortable tout en étant maniable et compactable lors de la pose. Comme pour le béton, l'enrobé est un mélange de granulats maintenus ensemble par un liant : du ciment pour l'un et du bitume pour l'autre. Les deux mélanges contiennent des vides qui ont un rôle fondamental en ce qui concerne la durabilité.

Les deux matériaux sont affectés par leur environnement : le béton est sensible à l'humidité et aux chlorures tandis que l'enrobé réagit aux températures extrêmes et aux rayons ultraviolets. Les deux matériaux sont sensibles aux cycles de gel et de dégel. Alors que le béton est un matériau rigide, l'enrobé bitumineux est un matériau flexible qui se déforme sous les charges.

L'enrobé préparé et posé à chaud est très sensible aux variations de fabrication; la marge est donc faible entre un produit performant et un autre nettement déficient.

11.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport* ainsi que du *Guide de contrôle de la qualité des enrobés à chaud,* tous les deux disponibles aux Publications du Québec.

La Direction générale du laboratoire des chaussées publie le *Guide technique sur la mise en place des enrobés bitumineux*; même si ce document concerne essentiellement les projets routiers, le surveillant se doit de le lire, puisqu'il est un complément intéressant au présent chapitre. Il est de la responsabilité du surveillant de faire appliquer les exigences de ce guide.

Le contrôle de la température du mélange, tant à la centrale d'enrobage qu'au chantier, est essentiel à la réussite du revêtement. La température maximale du mélange est inscrite sur l'attestation de conformité du bitume utilisé à la centrale d'enrobage et est nécessaire pour ne pas endommager le bitume du mélange. Bien que la température de surface de l'enrobé puisse être mesurée au moyen d'un thermomètre infrarouge, l'utilisation d'un thermomètre à tige est plus efficace pour mesurer la température au cœur du mélange.

Le contrôle de réception de la compacité d'un enrobé posé sur un pont diffère un peu de celui appliqué sur les routes en ce qui concerne la réévaluation de la compacité puisque celle-ci est faite au moyen d'un nucléodensimètre en mode de lecture en

transmission directe (avec insertion de la tige du nucléodensimètre dans le revêtement). Cette pratique est nécessaire puisqu'il est impossible de prélever des éprouvettes par forage, car cela endommagerait la membrane d'étanchéité et le béton sous-jacent.

Il faut se référer à la norme LC 26-510 pour plus d'information sur la manière d'utiliser le nucléodensimètre à transmission directe. Un trou de 52 mm de profondeur et de 19 mm de diamètre doit être foré dans le revêtement pour permettre l'insertion de la tige; il faut procéder avec précaution pour éviter d'endommager la membrane d'étanchéité. Les trous doivent ensuite être comblés au moyen d'un bitume à toiture en cartouche.

Mentionnons que l'exigence minimale de compacité est de 92 %, ce qui est moins élevé que celle utilisée pour les routes, puisqu'il n'est pas permis d'utiliser des rouleaux vibrants sur les ponts. L'exigence maximale de 98 % correspond à celle des routes. Contrairement aux exigences du CCDG, lorsque le devis spécial l'exige, l'enrobé doit être compacté au moyen de rouleaux oscillants. Dans ce cas, lorsque la mise en place d'enrobé s'effectue sur une dalle sur poutres, le mode oscillant doit être utilisé pour la portion d'enrobé située entre les poutres de rive seulement. À l'extérieur des poutres de rive, dans la portion de la dalle en porte-à-faux, le compactage doit se faire sans oscillation, c'est-à-dire en mode statique. Comme les dalles minces en porte-à-faux sont plus flexibles et vulnérables en ce qui a trait à la fissuration, on ne doit pas permettre le mode oscillant dans ces zones.

11.3 MISE EN ŒUVRE

11.3.1 Préparation de la surface déjà recouverte d'enrobé

Les surfaces d'une dalle déjà recouverte d'enrobé doivent être préparées selon le procédé indiqué dans le devis spécial : par décapage ou par correction par planage.

Le surveillant ne doit pas hésiter à intervenir pour faire cesser les travaux dès que la membrane d'étanchéité à conserver ou le béton de la dalle sont endommagés. Bien que l'entrepreneur soit tenu de réparer à ses frais les dommages ainsi causés, le surveillant doit être vigilant afin de les limiter. Il est en effet beaucoup plus facile de prendre les précautions requises pour diminuer le plus possible les dommages que de réparer correctement ceux qui ont été faits. Le béton désagrégé qui est enlevé en même temps que le revêtement ne doit évidemment pas être considéré comme un dommage imputable à l'entrepreneur.

<u>Correction du profil à l'approche</u>

La préparation de la surface s'étend souvent sur une certaine distance aux approches d'un pont; cette distance est généralement fixée dans le devis spécial. La correction du profil à l'approche permet d'harmoniser les profils longitudinaux des approches avec ceux du pont afin de diminuer le plus possible l'impact des véhicules sur le tablier du pont. Il ne faut pas hésiter à augmenter la longueur de la correction aux approches si cela est nécessaire pour obtenir des profils satisfaisants.

Cette correction du profil à l'approche doit être accompagnée de l'ajustement des glissières des approches afin de respecter les exigences des normes. Le surveillant peut se référer au chapitre 9 « Équipements » de ce manuel pour plus d'information à ce sujet. De plus, le rechargement des accotements est également à prévoir à la suite du pavage des approches.

Remplissage des excavations

Les approches d'un pont existant ont souvent un profil inconfortable, que le pont ait un joint de tablier ou non. À la suite du remplacement d'un joint de tablier ou de la réalisation d'un joint dalle sur culée, un remplissage d'excavation mal réalisé est souvent la cause d'un profil inconfortable, puisque le remblai a alors tendance à s'affaisser avec le temps. La façon simple d'éviter ce problème est de suivre soigneusement les indications du CCDG concernant le remplissage des excavations, notamment celles relatives à l'épaisseur maximale de chaque couche de granulats et la compacité à obtenir. Il faut être particulièrement vigilant lorsque la culée n'a pas de dalle de transition. Le surveillant peut se référer au chapitre 2 « Fondations » de ce manuel pour plus d'information à ce sujet.

Règle générale, le remplissage des excavations requis pour différents travaux de réparation au niveau de la chaussée à l'approche d'une structure devrait se faire à l'aide d'un matériau granulaire. Par contre, pour des travaux mineurs d'excavation à réaliser comme le remplacement d'un joint de tablier à une culée ou d'un joint dalle sur culée et la réfection des côtés extérieurs, etc., le remblai sans retrait comme matériau de remplissage peut être envisagé et spécifié au devis spécial.

Le remblai sans retrait est un matériau de remblayage autocompactant de très faible résistance à la compression (de l'ordre de 0,3 à 0,8 MPa à 28 jours) assez liquide et à prise rapide. C'est un mélange composé de gros granulats et de granulats fins avec très peu de ciment, qui présente une très grande fluidité et dont la fabrication est contrôlée en usine. Sa mise en place se fait directement à partir d'un camion-malaxeur et il est très difficile à pomper, voire impossible à pomper selon le mélange. Il est surtout utilisé lorsqu'il est difficile de compacter efficacement un matériel granulaire dans un endroit plus restreint ou en sous-œuvre, et pour remblayer rapidement des petites excavations ou affaissements mineurs, etc. La mise en place de ce type de remblai peut se faire lorsque la température ambiante est d'au moins 5° C sur un fond d'excavation et des parois excavées non gelés. Une fois en place, ce dernier a une perméabilité et une susceptibilité au gel similaires à celles de la pierre concassée. Sa compacité une fois durcie est de l'ordre de 95 % du proctor modifié, ce qui lui confère une assise stable; il est possible de l'excaver assez facilement même après plusieurs années en place.

Ce matériel de très faible capacité « remblai sans retrait » est efficace pour réduire l'affaissement de l'approche à long terme. Son utilisation doit être autorisée seulement si les conditions du fond et des parois d'excavation permettent un drainage rapide de l'eau qui est contenue et libérée du mélange lorsqu'il est mis en place.

En ce sens, lorsqu'une dalle de transition est présente aux approches, il ne faut pas l'utiliser pour un remplissage d'excavations réalisé au-dessus de cette dernière, à cause de l'effet potentiel de confinement qui risque fort probablement d'entraîner une mauvaise évacuation des eaux contenues dans le remblai sans retrait.

11.3.1.1 Travaux de décapage

Les travaux de décapage consistent à enlever l'enrobé et la membrane d'étanchéité sur la structure ainsi que l'enrobé à ses approches. Il consiste aussi à enlever l'enrobé temporaire mis en place sur une dalle neuve.

Le surveillant ne doit pas autoriser les travaux de décapage sur une dalle, ou l'une de ses parties lorsque les travaux sont réalisés en phases, si l'entrepreneur n'est pas en mesure de poser la nouvelle membrane d'étanchéité à l'intérieur des périodes spécifiées au CCDG.

Il faut délimiter au préalable la zone à décaper au moyen de traits de scie. La profondeur du trait de scie dans l'enrobé doit être limité à 20 mm au-dessus de la dalle de tablier et à 50 mm sur les approches. Cette délimitation des travaux est importante pour éviter d'enlever de l'enrobé sur le bord d'une voie adjacente ouverte à la circulation. En ce sens, cette délimitation permet d'obtenir un joint longitudinal rectiligne et durable à la jonction entre deux phases. De plus, il en est de même pour un joint transversal placé entre la jonction de la correction du profil à l'approche et la route située au-delà.

Lorsque cela est nécessaire, il peut être avantageux de réaliser le décapage par temps frais, durant la nuit par exemple, parce que l'adhésion du revêtement au béton de la dalle est alors moins grande, en raison de la fragilisation du bitume.

Des résidus incrustés dans des cavités ou dans des trous de faibles dimensions du béton de la dalle sont souvent impossibles à déloger au stade du décapage. Cependant, les résidus déposés au fond de dépressions causées par des marques de pieds, de pièces de bois ou autres devraient être enlevés lors du décapage au moyen d'outils manuels.

La surface de béton, une fois les travaux de décapage terminés, doit être exempte de matières étrangères, c'est-à-dire des matières autres que cimentaires. Même si l'on pouvait penser que les matières étrangères laissées en place seront enlevées lors du nettoyage de base mentionné au chapitre 10 « Membrane d'étanchéité et membrane autocollante pour joints » du présent manuel, il faut maximiser l'enlèvement de ces matières lors du décapage, car les équipements utilisés pour le nettoyage des surfaces sont peu efficaces pour enlever des résidus d'une certaine épaisseur. Seul un film de bitume sous forme de traces non mesurables, impossible à soulever avec un couteau ou autre objet pointu, est toléré sur la dalle une fois le décapage terminé.

Les matériaux provenant du décapage devraient être retirés du tablier du pont au fur et à mesure de l'opération; il serait en effet contre-indiqué de les mettre en pile compte tenu du poids important que cela représente, surtout au centre des travées. Dans cette

optique, le surveillant se doit de faire respecter le chapitre 6 du CCDG où l'on spécifie des limitations importantes à suivre sur l'utilisation des ouvrages d'arts par l'entrepreneur durant les travaux.

Matériel utilisé pour le décapage

L'équipement utilisé pour le décapage doit être d'une masse totale en charge inférieur à 23 t sans toutefois excéder la capacité affichée du pont correspondant à un camion à deux essieux. L'équipement le plus employé pour le décapage est la pelle hydraulique.

Dans le cas d'un pont ayant une capacité réduite, il appartient à l'entrepreneur de trouver une méthode de travail appropriée afin d'éviter d'endommager le système structural. Il existe sur le marché de petits équipements qui peuvent être utilisés à cette fin; il faut bien sûr s'attendre dans ces conditions à un peu plus de décapage manuel.

L'équipement utilisé ne doit pas endommager le béton de la dalle. Outre la masse totale en charge de l'équipement qui est limitée à 23 t, l'entrepreneur doit aussi choisir avec soin le godet venant en contact avec le béton. De façon générale, le godet doit être suffisamment étroit pour permettre l'enlèvement du revêtement par cisaillement sans toutefois endommager le béton de la dalle. Le godet le plus utilisé n'a pas de dents; un godet avec des dents auquel on a soudé une plaque en acier peut également être employé.

Le décapage par planage est interdit compte tenu du profil irrégulier du dessus du béton des dalles existantes; il est alors très difficile pour le planeur de ne pas entrer en contact par endroits avec le béton de la dalle. En plus des dommages occasionnés au planeur lui-même dus aux armatures de la dalle qui sont situées près de la surface de béton, cette pratique a pour effet de diminuer l'épaisseur souvent trop faible de l'enrobage de béton au-dessus des armatures et d'augmenter substantiellement les besoins de correction de la dalle avant la pose de la membrane d'étanchéité.

11.3.1.2 Correction par planage

La correction par planage consiste à enlever la partie supérieure du revêtement; cette correction est effectuée dans le contexte de l'entretien du revêtement d'un pont, souvent dans le cadre d'un projet de resurfaçage de la route sur laquelle il est situé. Bien que le resurfaçage d'une route se fasse généralement par ajout d'enrobé, il est souvent impossible de faire de même sur un pont en raison du poids additionnel que cela représente et de la présence des joints de tablier qui ne peuvent être rehaussés ou recouverts.

Les travaux sont réalisés sans toucher à la membrane d'étanchéité dont l'intégrité doit être préservée. Bien que l'épaisseur d'enrobé moyenne à enlever soit mentionnée au devis spécial, il est fortement recommandé de procéder au préalable à un relevé de l'épaisseur du revêtement sur l'ensemble du tablier et de s'assurer que cette information est transmise à l'opérateur du planeur. Les zones de dalle les plus sujettes à l'endommagement sont celles du centre des travées de dalles datant de plusieurs

années; ces dalles présentent fréquemment une cambrure résiduelle vers le haut à cause du peu d'attention portée dans le passé au respect du profil longitudinal lors de la construction de la dalle.

Bien que le concepteur aurait normalement dû avoir la précaution de faire un relevé de l'épaisseur du revêtement et du profil de la dalle, il peut arriver que l'utilisation d'un planeur soit incompatible avec les réalités du terrain; il faut alors aviser le concepteur et songer plutôt à une correction à l'enrobé. En effet, il faut éviter que le mandrin du planeur endommage les éléments à conserver, comme la membrane d'étanchéité et le béton de la dalle.

Il est exigé au CCDG que la correction rétablisse les profils transversal et longitudinal de façon à obtenir, après la pose d'une couche de surface d'épaisseur constante d'enrobé, des profils les plus acceptables possible. Il n'est pas question ici d'exiger des profils parfaits comme ce serait le cas pour une dalle neuve. Il s'agit plutôt d'obtenir un profil transversal suffisant pour assurer le drainage des eaux de ruissellement et un profil longitudinal le plus confortable possible tout en respectant le niveau des joints de tablier existants et la capacité structurale du pont.

La correction par planage est réalisée selon les exigences du CCDG et celles qui suivent :

- Près d'un joint de tablier, le planeur de faible largeur doit circuler selon l'axe du joint afin de ne pas endommager les épaulements de béton. Les plus grandes précautions doivent être prises pour que le mandrin du planeur ne fasse pas contact avec le béton des épaulements. Si le cas se présentait, il faudrait réparer l'épaulement selon les techniques utilisées pour une réparation de dalle; une réparation sommaire réalisée au moyen de mortier cimentaire ou d'enrobé n'est pas acceptable.
- Les zones inaccessibles au planeur de faible largeur doivent être traitées au moyen d'outils manuels. Ces zones devraient être réduites au minimum, car il est difficile dans ces circonstances de conserver l'intégrité de la membrane d'étanchéité. L'enrobé de rapiéçage existant sur les épaulements des joints de tablier doit aussi être enlevé au moyen d'outils manuels. Afin de protéger les épaulements des joints de tablier contre tout dommage causé par des équipements de chantier ou par les usagers, on doit procéder au planage du revêtement à proximité des joints juste avant la pose du nouveau revêtement. Si cela n'est pas possible et avant d'autoriser la circulation de chantier ou celle des usagers, l'entrepreneur doit prendre les précautions nécessaires pour protéger les épaulements en béton des joints de tablier contre les dommages causés par la circulation; ceux-ci sont très vulnérables à l'éclatement du béton. Une bonne pratique consiste à mettre des pièces de bois ou de l'enrobé temporaire près des joints. Il ne faut pas oublier qu'il est beaucoup plus facile de protéger les épaulements de cette façon que de faire une réparation durable de l'épaulement endommagé. Il ne faut jamais réparer un éclatement de béton au moyen de mortier; il faut plutôt effectuer une réparation avec coffrages sans surépaisseur.

- L'enrobé qui se désagrège facilement à la suite du planage, ou qui a une faible adhérence avec l'enrobé sous-jacent, avec la membrane d'étanchéité ou le béton de la dalle, doit être enlevé par décapage, y compris une zone de 600 mm tout autour. Cette situation se présente souvent près des joints de tablier ou des bordures, c'est-à-dire aux endroits où les sollicitations de trafic ou les contraintes environnementales sont les plus grandes. Dans le cas où une membrane d'étanchéité en bon état est présente, le décapage doit être fait avec précaution pour éviter de l'endommager. Il est inapproprié de laisser en place de l'enrobé peu adhérent, car cela va compromettre la durabilité du nouveau revêtement.
- Les surfaces décapées doivent être rapiécées et l'enrobé de rapiéçage doit être refroidi avant de procéder à la pose du nouveau revêtement. Procéder en même temps au rapiéçage et à la pose du nouveau revêtement amènera invariablement des dépressions sur le revêtement à la suite du passage répété des véhicules.
- Pour des raisons de sécurité, le planage doit être effectué de manière à ce que l'écoulement des eaux puisse se faire en tout temps vers les drains, surtout pour les dalles ou parties de dalle sur lesquelles la circulation est rétablie immédiatement après le planage. Pour ce faire, le planage est réalisé en prenant soin de ne pas faire d'encaissement entre les passages du planeur. Il faut aussi s'assurer que les drains du tablier ont des ouvertures sur le côté pour permettre l'évacuation des eaux. S'il n'y a pas d'ouvertures, l'entrepreneur est tenu d'en faire; le perçage de ces ouvertures devrait être réalisé selon les exigences de l'article 15.7.5.3 « Perçage » du CCDG.

Le balayage des surfaces doit être fait le plus tôt possible après le passage du planeur afin de faciliter l'enlèvement des résidus bitumineux laissés sur place. Ce balayage est fait au moyen d'un balai motorisé de capacité suffisante pour déloger tous les résidus; un balayage manuel est nécessaire pour les zones inaccessibles au balai motorisé.

Matériel utilisé pour la correction par planage

La masse totale en charge de l'équipement utilisé pour le planage doit respecter les exigences du CCDG dans la section « Revêtement de chaussée en enrobé ». Cette masse totale en charge doit également être inférieure à 32 t en incluant le poids maximal de l'eau contenue dans le réservoir (si le pont est affiché, la charge maximale permise correspond à celle du camion à deux essieux). Cette limitation permet d'éliminer les équipements les plus lourds tout en permettant une bonne proportion de ces équipements. La limitation de la masse totale en charge à 32 t est basée sur une analyse des configurations d'essieux usuelles de ce type d'équipement. Toute demande de la part de l'entrepreneur d'utiliser un équipement plus massif doit être refusée. Il convient aussi de préciser que pour la même raison, même si la masse totale en charge supérieure à 23 t est permise pour ces équipements, les limitations de l'article 6.11 du CCDG demeurent valides pour les autres types d'équipements de chantier.

Certains planeurs comportent des mandrins de plus faible largeur (environ 1 m de largeur). Ce type d'équipement peut être utile afin de réaliser avec précision et plus de

rapidité le planage aux abords des glissières et des joints de tablier. Lorsque le planage à effectuer comporte beaucoup de ces zones, le surveillant peut encourager l'entrepreneur à mobiliser ce type d'équipement plus petit.

Par contre, si malgré tout, le poids du planeur ayant un mandrin de 1 000 mm excède la capacité affichée du pont, il faut vérifier si le concepteur a indiqué au devis spécial ses exigences. Ces dernières peuvent être de deux ordres, soit qu'il exige que le planeur ait un poids plus modeste qui respecte la capacité affichée du pont ou soit que l'entrepreneur fournisse une note de calcul détaillée (selon la norme CAN/CSA-S6) signée par un ingénieur démontrant que les efforts engendrés par le planeur dans le tablier sont inférieurs à ceux d'un chargement correspondant au camion indiqué sur l'affichage. Ces exigences sont requises étant donné la masse très compacte des planeurs et de la nécessité de diminuer les vibrations transmises au tablier.

Dans le cas d'un joint de tablier, il est aussi demandé d'enlever le convoyeur arrière du planeur afin de s'approcher le plus près possible des obstacles que sont les côtés extérieurs du pont et les dispositifs de retenue temporaires; cette façon de faire permet de diminuer le plus possible l'ampleur des zones à corriger au moyen d'outils manuels.

Mentionnons que le surveillant ne doit pas permettre à l'entrepreneur d'utiliser une rétrocaveuse pour gratter la partie supérieure du revêtement. Cette pratique entraîne la plupart du temps l'enlèvement de l'enrobé sur sa pleine épaisseur, ce qui endommage la membrane d'étanchéité.

11.3.2 Liant d'accrochage

Le liant d'accrochage a pour fonction d'améliorer l'adhérence de l'enrobé au substrat et entre les différentes couches du revêtement. Une bonne adhérence réduit aussi le mouvement de l'eau aux interfaces des couches d'enrobé, favorisant ainsi une plus grande durabilité du revêtement.

La pose du liant doit se faire au moyen d'une rampe distributrice fixée à l'arrière d'un camion-citerne muni d'un débitmètre. Une lance d'épandage est utilisée pour les endroits plus difficiles d'accès. L'entrepreneur doit protéger contre les éclaboussures les surfaces non recouvertes d'enrobé et les véhicules circulant à proximité. L'utilisation de toiles ou de tout autre matériau approprié peut être requis lorsque la vitesse du vent devient problématique. La pose manuelle au moyen d'un rouleau est par contre exigée en tout temps le long des bordures sur une largeur minimale de 600 mm.

La pose du liant d'accrochage est réalisée selon les exigences du CCDG, dont les principales sont :

- Il faut poser du liant d'accrochage sur la membrane et, dans le cas d'une dalle existante, sur la couche de correction à l'enrobé mise au-dessus de la membrane (taux de pose de bitume résiduel : 0,20 ℓ/m^2). Le liant d'accrochage posé sur la couche de correction à l'enrobé est nécessaire pour le meilleur collage possible des deux couches d'enrobé, comme c'est le cas d'ailleurs pour les travaux routiers.

- Il faut s'assurer de la propreté des surfaces à recouvrir, surtout près des bordures et des joints de tablier, puisque les saletés s'y accumulent facilement et rapidement. De même, la pose du liant ne doit pas se faire sur des surfaces détrempées.
- La pose du liant doit s'effectuer tout juste avant la pose de l'enrobé afin d'éviter que les surfaces recouvertes de liant se salissent entre ces deux opérations. À part les camions utilisés pour la livraison de l'enrobé, aucun véhicule ne doit être autorisé à circuler sur les surfaces recouvertes de liant.
- Les taux de pose cités précédemment sont des taux de bitume résiduels, c'est-à-dire sans tenir compte de l'eau contenue dans le liant. Le taux de pose doit donc être calculé en tenant compte de la part d'eau contenue dans l'émulsion; il faut consulter le certificat de conformité du fabricant du liant pour connaître le pourcentage d'eau. Ce certificat de conformité doit respecter les exigences de la norme 4105 du Ministère. Il est important de s'assurer que le liant est appliqué uniformément sur toutes les surfaces; un épandage en peigne ou en bandes non contiguës n'est pas considéré comme un épandage uniforme. Si cela se produit, l'entrepreneur doit ajouter du liant et brosser manuellement l'ensemble des surfaces de façon à avoir du liant d'accrochage en tout point de la dalle selon le taux de pose exigé. Un taux de pose trop faible ou trop élevé nuit à la qualité du lien. Dans ce dernier cas, il est recommandé d'étendre le liant à la brosse des zones ayant reçu trop de liant vers les zones périphériques. Le contrôle du taux de pose se fait en comparant la quantité de liant utilisée pour couvrir une superficie connue de dalle.
- Le surveillant doit également veiller à ce que le liant soit appliqué sur le bas des chasse-roues, des trottoirs, des pistes cyclables en surépaisseur au-dessus d'une dalle et des glissières ainsi que sur les drains, les épaulements des joints de tablier et au droit des joints longitudinaux froids du revêtement. Ces travaux sont habituellement faits au pinceau pour éviter de salir les surfaces environnantes.
- L'entrepreneur doit généralement attendre la rupture et le mûrissement complet du liant avant de procéder à la pose de l'enrobé, sauf lorsque les conditions météorologiques sont difficiles comme cela est indiqué plus loin dans ce chapitre. La cure (mûrissement) du liant est terminée lorsque le pouce n'est pas taché après une forte pression sur celui-ci.
- Aucun liant ne doit être posé lors de la mise en place de l'enrobé temporaire d'une dalle neuve afin de faciliter l'enlèvement de l'enrobé temporaire et le nettoyage de la dalle le printemps venu.

Mentionnons que la pose du liant d'accrochage est obligatoire même s'il peut arriver que certains fournisseurs de membrane mentionnent dans leurs fiches techniques que cela n'est pas absolument nécessaire sur une membrane lorsque la température de l'enrobé excède un certain seuil. La position du Ministère s'explique par le fait que les allégations de ces fournisseurs ne sont pas vérifiables et que la gestion de ce paramètre serait difficile au chantier.

Conditions météorologiques

Il n'y a aucun problème à utiliser une émulsion de bitume comme liant lorsque les exigences minimales de température ambiante de l'article 13.3.4 « Mise en œuvre » du CCDG sont respectées.

Par contre, si la température est trop froide pour permettre la pose d'une émulsion de bitume, il est préférable de ne pas utiliser de liant. On ne doit surtout pas substituer le liant avec émulsion de bitume par un liant de bitume fluidifié, car ce dernier est interdit au CCDG et qu'il y a alors de très forts risques d'endommager la membrane d'étanchéité. Il faut tout de même examiner les autres solutions possibles avant de prendre cette décision. Premièrement, il faut envisager la possibilité d'utiliser une émulsion à rupture rapide. Une autre solution est de faire la mise en place de l'enrobé même si le liant n'est pas complètement curé (mûri), mais il faut alors qu'il soit au moins rupturé; en effet, il est possible de procéder à la pose de l'enrobé dès que la rupture du liant est faite. La rupture du liant est obtenue lorsque toute l'eau s'est séparée du bitume. Elle se constate par un changement de couleur de celui-ci (du brun au noir mat). Le temps nécessaire à la rupture dépend de la quantité d'eau dans le liant, de la température ambiante et du taux d'humidité ambiant.

Des produits d'entreprises comportant ou non un rupteur, dont certaines propriétés ne satisfont pas à la norme 4105 du Ministère, ont déjà été utilisés avec succès dans le passé pour des travaux réalisés tardivement en saison, même lorsque les conditions météorologiques ne respectaient pas les exigences du CCDG. Le surveillant se doit de consulter le répondant dans le domaine des enrobés de sa direction générale territoriale avant d'autoriser l'entrepreneur à procéder avec ce genre de produits et, le cas échéant, de voir au respect intégral des indications paraissant à la fiche technique du produit employé.

11.3.3 Enrobé préparé et posé à chaud

Les exigences de l'article 13.3.4 « Mise en œuvre » du CCDG relatives à la mise en place des enrobés sur les routes s'appliquent aussi aux ponts. Il existe tout de même une différence très importante en ce qui concerne le compactage de l'enrobé; il est, en effet, interdit d'utiliser sur les ponts l'option « vibration » des gros équipements comme des rouleaux qui servent à compacter l'enrobé mis en place sur les routes. Cette exigence s'impose afin d'éviter des dommages au système structural des tabliers de ponts. Lorsque le devis spécial l'exige, le compactage doit se réaliser avec un rouleau oscillant. Le cas échéant, on doit enlever l'option oscillation au-dessus des dalles en porte-à-faux, car celles-ci sont plus flexibles et vulnérables en ce qui a trait à la fissuration sous ce mode de compactage de l'enrobé. Il faut être très vigilant relativement à ces points, car les opérateurs ne sont pas tous au fait de ces exigences, ou encore certains oublient de désactiver l'option « vibration » ou « oscillation » lors des passages des rouleaux entre les approches et le tablier du pont.

Lorsque les travaux de construction ou de réparation d'un pont sont réalisés en plus d'une phase, les exigences du CCDG stipulent que le revêtement doit être mis en place avant le début des travaux sur une autre phase.

En effet, lorsqu'il n'y a pas de joints de tablier, l'entrepreneur peut trouver tentant de réaliser le revêtement en une seule opération à la fin des travaux; il faut cependant s'en tenir au CCDG afin d'éviter la contamination du béton de la dalle par la circulation, notamment par les matières huileuses difficiles à enlever par la suite. Le problème de glissance par temps pluvieux dû à des surfaces de béton très lisses incompatibles avec la sécurité des usagers est un autre argument qui justifie la position du Ministère. L'exécution du revêtement au fur et à mesure de la réalisation de chacune des phases des travaux permet généralement d'effectuer une bonne partie du revêtement dans de meilleures conditions météorologiques que si l'on procède à l'ensemble du revêtement à la fin des travaux.

L'enrobé doit être posé sur des surfaces propres et libres de toute saleté afin de ne pas diminuer l'adhérence de celui-ci à la membrane d'étanchéité ou à une couche d'enrobé déjà en place.

Matériel utilisé pour la pose de l'enrobé

Les équipements utilisés sont les mêmes que ceux qui servent pour les travaux réalisés sur les routes sans utilisation du véhicule de transfert des matériaux (VTM). Le poids des équipements utilisés ne doit pas cependant excéder la capacité affichée du pont correspondant à un camion à deux essieux. La largeur des finisseuses doit être d'au moins 3 m afin d'avoir un sous-traitant familier avec la pose d'enrobé sur le réseau du Ministère; cette exigence a pour objectif d'écarter les sous-traitants travaillant dans les domaines commercial ou résidentiel. Cette largeur minimale permet également de diminuer le nombre de joints longitudinaux. La largeur de 3 m exclut les rallonges vibrantes et chauffantes que l'on trouve sur la plupart des finisseuses; notons cependant que l'entrepreneur peut utiliser ces rallonges lors des travaux.

La mise en place de l'enrobé se fait uniquement au moyen de finisseuses; le recours à la pose manuelle d'enrobé est limitée aux endroits inaccessibles. Le pourtour des drains et, dans le cas d'une dalle existante, le biseau formé par la finisseuse et un joint de tablier en biais sont deux exemples types de pose manuelle d'enrobé. Dans le cas du resurfaçage effectué à la suite de la correction du revêtement par planage, la finisseuse peut être équipée d'un système de contrôle du profil longitudinal appelé communément « ski ». Ce système, qui a une longueur d'environ 12 m, permet d'éliminer les défauts de profil localisés et d'atténuer ceux de plus grande portée. Mentionnons que cet accessoire n'est pas utile dans le cas d'une dalle neuve, puisque le profil longitudinal devrait être adéquat; de même, pour une dalle existante, il n'est pas utile puisqu'un relevé d'arpentage est effectué pour rectifier le profil (dans le cas où les joints de tablier sont éliminés ou remplacés).

Les finisseuses doivent avoir une masse totale en charge inférieure à l'affichage du pont correspondant au camion à deux essieux ou à 28 t pour un pont dont l'affichage est supérieur à cette valeur ou inexistant. La limitation de la masse totale en charge à 28 t est basée sur une analyse des configurations d'essieux usuelles de ce type d'équipement. Toute demande de la part de l'entrepreneur d'utiliser un équipement plus massif doit être refusée. Il convient aussi de préciser que pour la même raison, même si une masse totale en charge supérieure à 23 t est permise pour ces équipements, les limitations de l'article 6.11 du CCDG demeurent valides pour les autres types d'équipements de chantier.

Le CCDG pose également d'autres conditions à l'utilisation des finisseuses sur les ponts pour éviter une surcharge de ceux-ci. Ainsi, chaque finisseuse ne doit être accompagnée que d'un seul camion, Cette exigence a pour but d'éviter une longue file de camions en attente sur le tablier du pont, ce qui peut être un chargement très sévère dans le cas de ponts à plusieurs travées ou de ponts très longs. Il faut aussi éviter que deux finisseuses avancent de front sur le pont, ce qui dans ce cas pourrait créer une surcharge localisée trop importante. Il est donc exigé au CCDG de maintenir une distance libre minimale de 20 m entre deux finisseuses. Notons que cette distance s'applique entre les finisseuses donc il est possible d'avoir un camion dans cette distance libre de 20 m. Cette distance de 20 m représente un compromis entre les exigences de chargement sur les structures (d'un point de vue structural, une plus grande distance aurait été souhaitable) et les exigences de température pour le joint longitudinal de l'enrobé (pour maintenir la température adéquate, une distance plus rapprochée aurait été souhaitable). Le surveillant doit donc être vigilant pour le respect de cette distance libre minimale et pour les exigences de température au joint longitudinal.

L'utilisation d'une niveleuse pour réaliser la couche de correction d'une dalle existante est inacceptable même si cela se fait à l'occasion pour le resurfaçage des routes. L'utilisation de ce genre d'équipement ne permet pas d'optimiser les profils transversal et longitudinal avec un minimum de matériau; il est en effet pratiquement impossible de tenir compte de la liste des épaisseurs calculées de la couche de correction. De plus, la charge exacte imposée au système structural ne peut pas être évaluée avant les travaux.

Bien que la compacité de l'enrobé soit assurée en grande partie par la finisseuse, elle doit être complétée par l'utilisation de rouleaux statiques. En effet, il est très important de mentionner que c'est durant cette dernière opération que le revêtement acquiert les caractéristiques nécessaires à sa durabilité, d'où l'importance d'une utilisation adéquate des rouleaux. Les rouleaux statiques et oscillants utilisés, selon l'usage exigé par le CCDG et le devis spécial pour l'oscillation, peuvent être à cylindres d'acier ou à pneus. La masse minimale des rouleaux compacteurs est fixée à 10 t. Cette exigence s'impose, puisque la seule façon de vérifier la compacité de la correction à l'enrobé d'une dalle existante est de fixer le nombre de passages d'un rouleau de masse déterminée. Le nombre de rouleaux nécessaires au compactage est proportionnel au nombre de finisseuses utilisées et au rythme de livraison de l'enrobé au chantier.

Les rouleaux à pneus sont généralement employés pour des couches d'épaisseur variable comme des couches de correction, tandis que les rouleaux d'acier sont plutôt utilisés pour des couches d'épaisseur relativement uniforme, comme la couche de surface. Il n'est cependant pas interdit d'employer les rouleaux à pneus pour la compaction de couches de surface. Plus de détails sur ces rouleaux sont donnés dans la section « Mise en place de l'enrobé sur une dalle existante ». Mentionnons que ce type de rouleaux est utilisé couramment dans certaines directions générales territoriales pour les ouvrages d'art d'envergure ou lorsqu'un pont, même de peu d'envergure, fait partie d'un contrat de réfection de l'enrobé de la route, puisque l'ampleur des travaux permet aux pneus de se réchauffer. Cette utilisation est alors un atout important afin d'obtenir de meilleures compacités sans employer la vibration surtout avec les enrobés actuels plus raides.

Délais et conditions météorologiques

Le surveillant se doit d'être présent en tout temps lors des diverses étapes relatives à la pose de l'enrobé. D'ailleurs, l'exigence du CCDG demandant à l'entrepreneur de lui donner un avis écrit d'au moins 24 heures pour préciser la date et l'heure de la mise en œuvre est une mesure exceptionnelle qui témoigne de l'importance que le Ministère accorde à ces travaux. La présence continue du surveillant est nécessaire, car celui-ci doit s'assurer de leur qualité au fur et à mesure que l'entrepreneur progresse dans ses opérations. Il est en effet impossible de vérifier entièrement la qualité des travaux une fois ceux-ci terminés.

La température des surfaces à recouvrir doit être suffisamment élevée pour permettre la mise en place appropriée du revêtement. Cette surface doit être sèche, propre et non gelée. Une température trop basse affectera la durabilité du revêtement en diminuant l'adhérence de celui-ci au substrat et en réduisant la compacité du mélange. Les exigences de température minimale à respecter sont indiquées dans le CCDG.

Par temps froid, il faut éviter de surchauffer l'enrobé à la centrale d'enrobage, puisque cela nuit à l'intégrité du mélange. Il faut par contre s'assurer que les camions transportant l'enrobé sont munis d'une bâche de qualité de façon à diminuer le plus possible les pertes de chaleur durant le transport. La coordination du rythme de livraison de l'enrobé avec la vitesse de mise en place au chantier permet de limiter les pertes de chaleur du mélange. Toutes ces mesures devraient suffire pour respecter la diminution maximale de 15 °C de la température du mélange permise dans le CCDG; sinon, le surveillant se doit de consulter le répondant en enrobé de sa direction générale territoriale.

Il peut être très difficile par temps froid de compacter adéquatement un enrobé contenant du bitume polymère, notamment les mélanges contenant les bitumes PG 64-34 et PG 58-40, notamment après le 1er octobre. Il est alors recommandé de procéder au compactage de l'enrobé immédiatement derrière la finisseuse. Tout retard à ce niveau peut entraîner de sérieux problèmes de durabilité du

revêtement qui aura tendance à développer des ornières rapidement. Rappelons que la solution de remplacement à cette exigence, pour une dalle neuve, est de poser un enrobé temporaire et de reporter la pose du pavage permanent au printemps suivant.

Rappelons qu'il est interdit de faire la mise en place d'enrobé lorsqu'il pleut ou lorsque la surface est sale ou détrempée.

Protection de la membrane d'étanchéité

Afin de préserver l'intégrité de la membrane d'étanchéité, le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur vérifie la propreté des pneus ou des chenilles des équipements qui circulent directement sur la membrane. Il doit aussi s'assurer que les finisseuses font le moins d'arrêts possible lors des travaux et, le cas échéant, que la remise en marche se fait en douceur.

À la fin du déchargement de chaque camion, il faut veiller à ce que les résidus d'enrobé restant dans la benne des camions ne soient pas déversés devant la finisseuse. Cette pratique peut endommager la membrane tout en entraînant des zones de faible compacité dues au refroidissement de cet enrobé avant qu'il ne soit incorporé au revêtement, ce qui résultera en l'apparition de nids de poule dans l'enrobé à court terme.

Poches d'air sous la membrane d'étanchéité

La mise en œuvre de l'enrobé doit être réalisée à l'intérieur d'un délai maximal de trois jours ouvrables après la pose de la membrane d'étanchéité. Cette exigence s'impose afin de diminuer le plus possible l'apparition de poches d'air sous la membrane. En effet, celles-ci ont tendance à apparaître par temps ensoleillé et chaud à cause de la vaporisation de l'eau s'échappant du béton. S'il s'avérait impossible de procéder à la pose du revêtement avant la fin du délai de trois jours en période plus chaude, il faudrait alors recouvrir la dalle d'un géotextile blanc imbibé d'eau afin de réduire la température de la membrane Si les conditions météorologiques (pluie ou froid) ne permettent pas de respecter ce délai maximal de trois jours ouvrables, l'entrepreneur n'aura évidemment pas le choix d'attendre que la température soit plus clémente (temps sec et pas trop froid, substrat sec) avant d'entreprendre les travaux de pose de l'enrobé sur la membrane d'étanchéité. Il faut aussi noter que les températures plus fraîches sont cependant moins susceptibles de causer l'apparition de poches d'air sous la membrane.

Le surveillant doit inspecter la membrane immédiatement avant la pose de la première couche d'enrobé pour déceler la présence de poches d'air. Ces dernières sont plus faciles à détecter si le regard est porté à ras de la membrane. Les poches d'air doivent être réparées conformément aux exigences du chapitre 10 « Membrane d'étanchéité et membrane autocollante pour joints » du présent manuel.

Le surveillant doit aussi inspecter la membrane immédiatement après la pose de la première couche d'enrobé; en effet, la chaleur de l'enrobé mis en place sur la membrane favorise la formation de nouvelles poches d'air. Les poches d'air sont

facilement visibles lors du passage des rouleaux utilisés pour le compactage. Ces poches d'air doivent être crevées en insérant un outil pointu à un angle le plus faible possible par rapport à l'horizontale pour permettre à l'air de sortir. Immédiatement après cette opération, le rouleau doit faire un nouveau passage au-dessus de la réparation pendant que l'enrobé est encore assez chaud. Cette façon de faire réduit les dommages à la membrane tout en permettant de la recoller au béton de la dalle.

Joints de tablier

Il est bien connu que les joints de tablier constituent une source importante d'inconfort pour les usagers. Cet inconfort est souvent causé par des joints mal installés, mais aussi très fréquemment par des travaux de revêtement mal exécutés. Pour atténuer ce problème, il est exigé au CCDG de vérifier le profil de l'enrobé près des joints au moyen d'une règle de 3 m centrée sur le joint; toute correction qui s'avère nécessaire doit être faite avant le refroidissement de l'enrobé.

La présence de joints de tabliers constitue assurément une difficulté importante lors de la pose du revêtement, la difficulté étant même accentuée lorsque ceux-ci sont en biais. Dans ce dernier cas, la couche de correction du biseau formé par le joint de tablier et la finisseuse doit être posée manuellement; notons que cela ne s'applique pas pour la couche de surface, car la finisseuse passe alors au-dessus du joint.

Le compactage de l'enrobé près des joints de tablier est plus difficile à réaliser et il en résulte souvent une durabilité réduite à ces endroits. Il faut d'abord s'assurer d'obtenir au moins la même épaisseur d'enrobé près des joints qu'ailleurs sur la dalle, et ce, pour chacune des couches d'enrobé. Plus précisément, l'élévation finale de la surface de l'enrobé compacté par rapport au-dessus de l'épaulement du joint doit être au moins égale ou d'au plus 5 mm tout au long dudit épaulement. Cette précaution est particulièrement importante pour la couche de surface où tout amincissement de l'enrobé près du joint a des effets néfastes à court terme sur son comportement. Cet amincissement de la couche de surface est souvent dû au bourrelet d'enrobé laissé sur place par les rouleaux servant à la compaction de la couche de correction. Ce surplus d'enrobé de la couche de correction doit être enlevé avant de poursuivre le compactage près du joint.

Il faut aussi tenir compte du fait que le compactage de l'enrobé près des joints de tablier se fait différemment de celui en travée. En effet, le rouleau devrait circuler selon l'axe des joints et, pour ce faire, la disponibilité d'un rouleau de plus faible gabarit est alors fort utile. Les zones inaccessibles au rouleau sont compactées au moyen d'une plaque vibrante ayant une masse minimale de 75 kg et les recoins restants au moyen d'un pilon.

Puisque l'enrobé avant compactage est posé en surépaisseur pour respecter les épaisseurs finales exigées, une mince couche d'enrobé chaud est alors mise en place sur les joints de tablier en continuité avec la couche de surface de part et d'autre de ceux-ci. L'entrepreneur doit donc s'assurer d'enlever cet enrobé, y compris dans la dépression au droit de la garniture, immédiatement après le passage de la finisseuse.

De plus, dans le cas de nouveaux joints de tablier pour lesquels la garniture n'est pas encore installée, il est recommandé de bloquer le vide (avec une plaque d'acier étroite et longue directement sur les épaulements par exemple) entre les fers d'enclenchement des joints pour éviter que l'enrobé s'y infiltre. Cette recommandation est encore plus pertinente pour un joint avec dalot, car il est alors plus difficile d'y déloger l'enrobé.

L'entrepreneur se doit de prendre les précautions nécessaires pour protéger les épaulements en béton des joints de tablier à plus d'une garniture contre les dommages causés par la circulation des équipements de chantier, en particulier les rouleaux utilisés pour le compactage de l'enrobé. Une bonne pratique consiste à mettre des pièces de bois près des joints. Il ne faut pas oublier qu'il est beaucoup plus facile de protéger les épaulements de cette façon que de faire une réparation durable de l'épaulement endommagé.

Drains

L'entrepreneur devrait bloquer le dessus des drains pour empêcher l'enrobé de s'y introduire; cela est particulièrement important pour les drains situés au-dessus de plans d'eau ou ceux connectés à un tuyau de descente d'un dispositif de drainage situé sous le pont.

Joints longitudinaux froids

Il faut réduire le plus possible le nombre de joints longitudinaux froids, car ils constituent un des points faibles du revêtement. Un joint longitudinal froid entre deux bandes successives d'enrobé se produit lorsque la température de l'enrobé de la première bande descend sous les 85 °C avant la pose de la seconde bande d'enrobé.

Lorsque les travaux de construction ou de réparation d'un pont sont réalisés en une seule phase, la pose du revêtement devrait être planifiée pour ne pas avoir de joints longitudinaux froids. Pour ce faire, il faudrait utiliser une finisseuse suffisamment large pour couvrir toute la largeur du pont. Cela est rarement possible, puisque la largeur maximale des finisseuses disponibles est d'environ 7 m. Il est tout de même possible d'utiliser une seule finisseuse pour les ponts de faible longueur à la condition de pouvoir commencer une nouvelle bande d'enrobé avant que la température de l'enrobé de la bande précédente ne descende sous les 85 °C.

Dans le cas où la longueur de la structure ne permet pas de procéder avec une seule finisseuse, et comme demandé au devis spécial, il faut utiliser plusieurs finisseuses pour couvrir toute la largeur du pont. Cette façon de faire est valable pourvu que les finisseuses se suivent d'assez près (tout en respectant les exigences de distance de séparation minimale de 20 m) pour éviter la formation d'un joint longitudinal froid.

Lorsque les travaux de construction ou de réparation d'une structure sont réalisés en plus d'une phase, la pose du revêtement devrait être planifiée pour ne pas avoir de joints longitudinaux froids ailleurs qu'aux limites des phases des travaux. À moins d'une indication contraire dans les plans et devis, le joint longitudinal froid sur la couche de surface doit être localisé à la ligne de démarcation des voies de roulement, puisque

c'est l'endroit le moins sollicité par le trafic. Puisqu'il est important de ne pas avoir un joint froid au même endroit sur toute l'épaisseur du revêtement, il faut alors décaler de 300 mm le joint de la couche de correction située immédiatement sous la couche de surface. Il est aussi primordial que la localisation du joint froid sur la couche de surface ne soit pas vis-à-vis de l'emprise des axes de roues du trafic routier, sinon la durabilité et la performance du joint froid en seront grandement affectées.

Lors de la pose de la couche de surface, si la température de l'enrobé d'une première bande est inférieure à 85 °C, l'enrobé formant un biseau en bordure de cette bande doit être enlevé en faisant au préalable un trait de scie de 20 mm de manière à avoir un appui vertical pour le nouvel enrobé. Cette exigence s'impose puisque cet enrobé est peu compacté et qu'il n'est pas possible de chauffer l'enrobé jusqu'à 85 °C sans endommager le bitume du mélange. La solution consistant à laisser l'enrobé du biseau en place, pratique courante pour les routes, est inacceptable pour un pont compte tenu du peu de travail requis pour enlever cet enrobé et de la faible épaisseur d'enrobé sur les ponts, donc de la vulnérabilité accrue en comparaison aux routes, ainsi que des bénéfices retirés quant à la durabilité des joints longitudinaux froids.

11.3.3.1 Mise en place de l'enrobé sur une dalle existante

Les travaux de mise en place de l'enrobé sur une dalle existante peuvent se faire selon deux scénarios différents. Le plus courant consiste à poser le revêtement sur une dalle qui a d'abord été réparée et recouverte d'une membrane d'étanchéité. Il faut alors poser une couche de correction et une couche de surface. Le deuxième scénario consiste à poser uniquement une couche de surface sur un revêtement qui a fait l'objet d'une correction par planage.

L'épaisseur après compactage de l'enrobé est mentionnée au CCDG; elle est de 40 mm pour la couche de surface et d'au moins 25 mm pour la correction.

Une couche supplémentaire d'enrobé aux approches d'un pont est souvent prévue dans le devis spécial. Cette couche supplémentaire, qui doit être posée avant l'enrobé sur le tablier du pont, est nécessaire pour obtenir la résistance structurale prévue de la route. Mentionnons que l'épaisseur d'enrobé sur un pont est plus faible que celle que l'on rencontre couramment sur les routes afin d'alléger la charge sur le support structural fourni par le tablier.

<u>Enrobé à chaud sur une partie de pont</u>

Lors du remplacement ou de l'élimination d'un joint de tablier ou lors de la réfection de côtés extérieurs, il peut arriver que l'enrobé existant ne soit pas enlevé sur la totalité du tablier, mais seulement aux endroits nécessaires pour procéder à ces travaux.

Puisque ce sont généralement des travaux de revêtement de faible envergure et que le revêtement sera probablement refait à moyen terme sur l'ensemble du tablier, l'enrobé

utilisé est un mélange bas de gamme. Les travaux sont faits en deux étapes : la correction à l'enrobé, qui est effectuée manuellement, et la couche de surface, qui est réalisée avec la finisseuse.

L'entrepreneur peut s'opposer à l'utilisation d'une finisseuse compte tenu des très faibles quantités d'enrobé à poser; il appartient au surveillant de juger de la situation en fonction de l'importance de la route, du délai prévu avant la réfection complète du revêtement et de la capacité de l'entrepreneur à faire un travail manuel de qualité.

L'épaisseur de l'enrobé à poser doit correspondre à celle de l'enrobé existant à proximité et ne doit pas entraîner une diminution du confort des usagers et un mauvais drainage des eaux de ruissellement.

a) Correction à l'enrobé

Puisque dans le cas d'une dalle existante les profils de celle-ci laissent souvent à désirer, il faut prévoir une correction à l'enrobé avant de procéder à la pose de la couche de surface. La couche de correction, de par la variabilité de son épaisseur, joue le même rôle que les goussets d'une dalle mince reposant sur des poutres.

Dans le cas d'un profil longitudinal irrégulier, l'utilisation de plus d'une couche de correction peut être requise même si cela entraîne inévitablement une augmentation du niveau de difficulté lors de la réalisation des travaux.

La correction à l'enrobé vise aussi deux autres objectifs. Le premier est d'éviter des problèmes de compactage liés à la pose d'une seule couche d'enrobé de type EG-10 ou ESG-10 sur une épaisseur excessive et variable. De plus, puisqu'il est difficile de réussir du premier coup le drainage adéquat des eaux de ruissellement des dalles existantes, le deuxième objectif vise à préserver les caractéristiques de l'enrobé de surface en faisant les ajustements nécessaires pour obtenir un bon drainage sur la correction à l'enrobé. En effet, il est courant de chauffer et de gratter un revêtement pour l'amincir ou d'y ajouter une mince couche d'enrobé pour améliorer le drainage; ces opérations, qui réduisent la durabilité de l'enrobé, sont par conséquent interdites sur la couche de surface.

Le type d'enrobé à employer en fonction de l'épaisseur de la correction à l'enrobé est spécifié au CCDG. L'enrobé EC-10 ne doit pas être utilisé si l'épaisseur de la correction est supérieure à 40 mm à cause de la mauvaise performance du mélange sur une plus grande épaisseur. L'enrobé ESG-10 est employé uniquement lorsque l'épaisseur de la correction dépasse 40 mm.

Certains entrepreneurs hésitent à se servir de l'enrobé EC-10, surtout lorsque les quantités à poser sont faibles parce qu'ils préfèrent utiliser un seul type d'enrobé, soit celui prévu pour la couche de surface qui est le EG-10 ou le ESG-10 selon le CCDG. Le surveillant doit alors insister pour que l'entrepreneur utilise un enrobé de type EC-10 lorsque l'épaisseur de celui-ci est inférieure à 40 mm; agir autrement entraînera un compactage déficient de la correction à l'enrobé et un risque accru de poinçonnement de la membrane d'étanchéité.

Relevé d'arpentage

Dans le cas d'un pont sans joint de tablier, ou encore d'un pont où tous les joints sont remplacés ou éliminés, il est exigé au CCDG que l'entrepreneur procède à un relevé d'arpentage du dessus du béton de la dalle afin d'évaluer l'épaisseur en tout point de la couche de correction. Cette procédure est similaire à celle employée pour le calcul des goussets d'une dalle neuve.

L'entrepreneur doit remettre au surveillant, à l'intérieur d'un délai de cinq jours avant le début de la mise en place de l'enrobé, le relevé d'arpentage et la liste des épaisseurs du revêtement qu'il a calculées pour les divers points d'arpentage. Le surveillant doit alors procéder à la vérification des profils découlant des documents remis par l'entrepreneur et y apporter au besoin des modifications si ceux-ci lui semblent inadéquats tant en ce qui a trait au confort des usagers qu'en ce qui concerne la charge ajoutée au système structural. La liste finale des épaisseurs du revêtement révisée ou non par le surveillant est ensuite remise à l'entrepreneur, au plus tard cinq jours après la réception des documents complets de l'entrepreneur, pour que ce dernier puisse réaliser les travaux.

L'entrepreneur devrait aussi informer le surveillant sur la méthode de travail qu'il entend employer pour tenir compte de la liste finale des épaisseurs du revêtement. La méthode la plus courante, très populaire pour les routes, consiste à utiliser pour la première bande d'enrobé un fil de référence localisé à proximité d'un des côtés de la finisseuse. Ce fil doit être localisé vis-à-vis d'une des lignes du relevé d'arpentage et selon le profil longitudinal final désiré. La finisseuse suit le profil du fil au moyen d'ajustements manuels ou au moyen d'un palpeur électronique; la pente transversale de la finisseuse se fait au moyen du contrôle automatique de la pente transversale. Les autres bandes d'enrobé sont posées en se servant de la première bande d'enrobé comme repère. Cette façon de faire pourrait être remplacée par l'utilisation d'une finisseuse équipée d'un système de contrôle du profil longitudinal, communément appelé « ski », lorsque la différence entre les épaisseurs minimale et maximale de la couche de correction ne dépasse pas 10 mm.

Dans le cas d'un pont où les joints de tabliers existants ne sont ni remplacés ni éliminés et bien que le relevé d'arpentage ne soit pas exigé, le surveillant et l'entrepreneur devraient s'entendre sur ce qui est possible de faire pour améliorer les profils du revêtement tout en respectant le niveau des joints de tabliers existants et la capacité structurale du pont. Il n'est évidemment pas défendu de faire un relevé d'arpentage même si celui-ci ne comporterait que les points hauts et bas de chaque travée vis-à-vis de la ligne de centre du pont, soit au droit des éléments de fondation et des centres de travées. Faire usage d'une finisseuse équipée d'un système de contrôle du profil longitudinal peut aussi être utile pour maximiser la qualité des profils.

Vérification de la capacité portante

Bien que l'épaisseur du revêtement sur une dalle neuve soit fixée à 65 mm, celle d'une dalle existante est variable sans toutefois être inférieure en tout point à 60 mm afin de bien protéger la membrane d'étanchéité.

Compte tenu de la variabilité de l'épaisseur du revêtement d'une dalle existante, il faut être vigilant afin de ne pas excéder la capacité portante du pont. À défaut d'une étude sur la capacité du pont, l'épaisseur moyenne totale d'enrobé doit être inférieure à 75 mm alors que l'épaisseur doit être en tout point inférieure à 90 mm. Ces épaisseurs doivent inclure le cas échéant l'enrobé posé comme correction de dalle sous la membrane d'étanchéité.

Il est fortement recommandé au surveillant de consulter le concepteur si ces épaisseurs sont dépassées, ou encore mieux, s'il est possible de prévoir qu'elles soient dépassées avant les travaux. Dans le cas où un relevé d'arpentage de la dalle est réalisé, cette consultation doit avoir lieu avant de remettre la liste finale des épaisseurs du revêtement à l'entrepreneur. Dans le cas où il n'y a pas de relevé d'arpentage, le surveillant doit évaluer sommairement les épaisseurs d'enrobé au centre des travées et vis-à-vis des éléments de fondation et en faire part au concepteur s'il y a dépassement des valeurs cibles citées au paragraphe précédent.

Travaux

Lorsque la correction à l'enrobé exige la pose de plus d'une couche de correction, il faut attendre que la température de surface de l'enrobé d'une première couche soit inférieure à 85 °C avant de poser une autre couche. Cette exigence permet d'éviter de décompacter l'enrobé déjà en place. De plus, le profil du dessus de chaque couche de correction devrait être parallèle au profil final désiré afin d'augmenter la résistance structurale de la correction.

Le compactage de l'enrobé n'est pas vérifié au nucléodensimètre parce que l'épaisseur de la couche de correction est généralement trop faible. Pour contourner cette difficulté, la masse des rouleaux à utiliser et le nombre de leurs passages sont fixés au CCDG. Pour obtenir la meilleure compacité possible, le rouleau doit suivre la finisseuse le plus près possible. Il ne faut pas oublier que la compactibilité de l'enrobé diminue rapidement lorsque celui-ci se refroidit; en fait, la compactibilité devient pratiquement nulle lorsque la température de l'enrobé est inférieure à 85 °C. Le rythme normal de refroidissement est accéléré par temps froid et par l'utilisation sur les ponts de minces couches d'enrobé.

L'entrepreneur et le surveillant devraient vérifier sommairement les profils établis par la finisseuse au moyen d'un niveau à bulle ou d'un niveau électronique fixé sur une longue règle droite. Cette pratique permet d'ajuster la finisseuse au besoin afin d'obtenir le moins de déficiences possible quant au drainage des eaux.

Le rouleau utilisé pour la compaction de la couche de correction est le rouleau à pneus. Ce type de rouleau est privilégié, car la couche de correction a une épaisseur variable

et le rouleau à pneus donne de meilleures compacités pour ce type de condition. Le surveillant doit être particulièrement vigilant au début de la mise en œuvre de la compaction, car l'utilisation d'un rouleau dont les pneus sont froids amène l'enrobé à coller sur la surface de ces derniers. Pour éviter ce problème, les pneus peuvent être préalablement réchauffés au moyen d'appareils de chauffage similaires à ceux employés pour le chauffage des abris de bétonnage par temps froid. Il faut absolument interdire à l'entrepreneur d'enduire les rouleaux d'huile à chauffage, car cette substance détériore l'enrobé.

Une fois la correction à l'enrobé terminée, l'entrepreneur doit vérifier, au moyen d'eau (souvent à partir d'un camion-citerne), que le drainage des eaux de ruissellement se fait correctement, et ce, pour les raisons expliquées au début du texte portant sur la correction à l'enrobé. L'eau utilisée doit être propre afin d'éviter de salir inutilement les surfaces à recouvrir de la couche de surface.

Le surveillant autorise l'entrepreneur à procéder à la pose de la couche de surface uniquement lorsque toutes les surfaces présentant des déficiences quant au drainage ont été corrigées à sa satisfaction.

b) Couche de surface

L'entrepreneur doit attendre que la température de surface de l'enrobé de la couche de correction soit inférieure à 85 °C avant de poser la couche de surface. Cette exigence permet d'éviter de décompacter l'enrobé déjà en place.

Pour optimiser la qualité de l'uni des surfaces, la vitesse de la finisseuse doit être uniforme et le nombre d'arrêts de cette dernière doit être limité au strict minimum. La vitesse normale de la finisseuse est d'environ 10 m/min.

Afin d'améliorer la compacité de l'enrobé sur un pont, il est demandé dans le CCDG que l'enrobé posé sur le pont soit considéré comme un lot distinct de celui mis en place aux approches. Puisqu'il est interdit d'utiliser des rouleaux vibrants sur un pont et à moins de 2 m des culées, cette exigence oblige l'entrepreneur à ne pas négliger le compactage de l'enrobé sur le pont, car il ne peut être compensé par un très bon compactage de l'enrobé aux approches.

L'obtention d'une compacité adéquate est importante pour que le revêtement soit durable, sans déformation éventuelle causée par le passage répété des véhicules, et le plus imperméable possible. Un bon entrepreneur vérifie la compacité du revêtement au fur et à mesure du compactage au moyen d'un nucléodensimètre. Compte tenu des problèmes de compacité associés à un épandage en éventail, par exemple pour combler une dépression à l'arrière de la finisseuse, l'entrepreneur doit s'en tenir à l'épandage au râteau.

Il est important de mentionner que la vitesse d'avancement de la finisseuse a un impact important sur le degré de compaction espéré. En effet, une vitesse de déplacement trop rapide de la finisseuse, attribuable généralement à un trop grand nombre de camions d'enrobé affectés aux travaux, ne laisse pas le temps nécessaire pour effectuer un

nombre suffisant de passages avec les équipements de compaction. De plus, cette situation peut entraîner une chute importante de la température de l'enrobé dans les bennes des camions en attente, ce qui aggrave les problèmes de compaction du mélange.

Mentionnons par contre que lorsqu'un nombre insuffisant de camions assurent le transport de l'enrobé au chantier, il s'ensuit de nombreux « arrêts et départs » de la finisseuse, ce qui entraîne des conséquences néfastes pour la qualité de l'uni du pavage.

Il faut donc que l'entrepreneur ajuste ses livraisons d'enrobé au chantier à la capacité de son équipe chargée du compactage à réaliser un nombre suffisant de passages.

Le surveillant doit se référer à la partie 11.2 « Assurance de la qualité » de ce chapitre pour plus d'information concernant la mesure de la compacité.

Lorsque cela est demandé dans le devis spécial, l'entrepreneur doit confectionner des bordures en enrobé à l'extrémité des murs en retour. Ces bordures sont généralement réalisées à l'aide d'outils manuels, selon les dimensions indiquées dans les plans. Celles-ci servent à canaliser l'eau de ruissellement loin de la structure.

Le profil de l'enrobé à proximité des joints de tablier doit être vérifié à l'aide d'une règle de 3 m centrée perpendiculairement sur le joint. La différence entre le dessus du joint et le profil de l'enrobé compacté doit être comprise entre 0 et 5 mm. S'il y a lieu, l'entrepreneur doit corriger le tout avant le refroidissement de l'enrobé. En aucun temps, le dessus de l'épaulement du joint ne doit être supérieur au profil de l'enrobé, sinon les chasse-neiges auront tôt fait de briser l'épaulement du joint. De plus, ceci peut se révéler inconfortable, voire même dangereux pour les usagers de la route, par exemple les motos, selon l'ampleur de la non-conformité. L'appareillage utilisé pour la mesure avec la règle de 3 m est présenté à la méthode d'essai LC 26-600.

Cette vérification est largement répandue dans le domaine routier. Le surveillant ne devrait pas avoir à effectuer très souvent ce genre de vérification pour la simple et bonne raison que les joints transversaux ne sont pas présents et non requis sur plusieurs ponts existants de faible longueur sur le réseau routier du Québec.

La remise en circulation sur l'enrobé nouvellement posé est autorisée seulement lorsque la température de surface de ce dernier est inférieure à 85 °C. Cette exigence permet d'éviter de décompacter l'enrobé et de faire des traces ou des marques à sa surface.

Comme indiqué aux plans et devis, l'entrepreneur doit effectuer un trait de scie à chaque extrémité de pont sans joint de tablier ou ayant un joint de tablier avec épaulements en acier. Cette exigence des plans et du CCDG, qui permet d'obtenir une fissure rectiligne à cet endroit, s'impose afin d'augmenter la durabilité de l'enrobé au droit de la fissure. Le trait de scie est effectué après un délai de 24 heures suivant la pose du revêtement, sinon les parois du trait de scie vont se refermer sous le passage des véhicules.

Le trait de scie doit être fait seulement sur l'épaisseur demandée aux plans. Il ne faut pas qu'un trait de scie sur la pleine épaisseur de l'enrobé soit réalisé par l'entrepreneur, car cette façon de faire amène une infiltration d'eau importante dans le remblai et une dégradation plus rapide de l'enrobé.

Une fois la pose du revêtement terminée, le surveillant doit vérifier si celui-ci draine adéquatement les eaux de ruissellement. Cette vérification est nécessaire pour s'assurer de l'absence de tout risque d'aquaplanage l'été ou de glissance l'hiver. Un bon drainage permet aussi d'avoir un revêtement qui aura une plus grande durabilité. Cette vérification est aussi nécessaire pour obtenir le meilleur confort possible pour les usagers.

Le surveillant doit procéder de deux façons pour réaliser la vérification du drainage. La première consiste à s'assurer que les exigences de l'article 13.3.4.7 « Caractéristiques de surface des couches du revêtement » du CCDG, relatives à la vérification du profil de la couche de surface au moyen de la règle de 3 m, sont respectées; cette règle est fournie par l'entrepreneur.

La deuxième façon de faire, similaire à celle effectuée après la correction à l'enrobé, peut être faite immédiatement à la fin des travaux au moyen d'un camion-citerne ou encore plus tard lors d'une précipitation. Toute surface non conforme doit être corrigée par planage et la mise en place d'un nouvel enrobé de même type que celui utilisé originalement. Il est en conséquence interdit de chauffer et de gratter la surface du revêtement pour enlever une mince couche d'enrobé, car cette pratique est néfaste pour l'enrobé demeuré en place. De même, il est interdit d'ajouter une mince couche d'enrobé pour combler une dépression, car cet enrobé va assurément disparaître très rapidement.

11.3.3.2 Mise en place de l'enrobé sur une nouvelle dalle

Il est prévu au CCDG une seule couche d'enrobé sur une dalle neuve d'épaisseur de 65 mm, puisque les profils transversal et longitudinal de ces dalles ont été établis de façon adéquate au moment du bétonnage de celles-ci. La mise en place de cette couche unique est faite selon les exigences associées à la couche de surface de l'article 11.3.3.1 « Mise en place de l'enrobé sur une dalle existante » traitant de la mise en place de l'enrobé sur une dalle existante.

<u>Enrobé temporaire (dalle neuve)</u>

Un enrobé temporaire consiste à poser une couche d'enrobé directement sur le béton d'une dalle neuve lorsqu'il n'est pas possible d'installer la membrane d'étanchéité durant la période autorisée au CCDG comme cela est mentionné au chapitre 10 « Membrane d'étanchéité et membrane autocollante pour joints » de ce manuel. L'enrobé temporaire est remplacé par le revêtement permanent le printemps suivant.

Lorsqu'un enrobé temporaire est utilisé, la pose du liant d'accrochage n'est pas permise. Puisqu'il faudra retirer l'enrobé temporaire quelques mois après la pose,

l'emploi d'un liant d'accrochage serait non seulement superflu, mais rendrait plus difficiles l'enlèvement de l'enrobé temporaire et le nettoyage de la dalle avant la pose de l'enrobé permanent.

Le type d'enrobé à utiliser et l'épaisseur à prévoir sont spécifiés dans le devis spécial, soit une épaisseur minimale de 40 mm, sauf si le pont comporte un joint de tablier et que celui-ci est situé sur une route où la vitesse affichée est supérieure à 50 km/h. Dans ce dernier cas, une épaisseur de 65 mm est recommandée pour ne pas nuire au confort et à la sécurité des usagers. De par ses caractéristiques, l'enrobé utilisé est un mélange de ESG-10, tel qu'exigé au CCDG.

Le prix de l'enrobé temporaire devrait être le même que celui de l'enrobé permanent pourvu que le concepteur ait choisi le bon code d'ouvrage lors de la préparation des bordereaux dans un tel processus de soumission. En ce sens, selon la projection des futurs travaux au moment de finaliser les documents de soumission, le concepteur peut prévoir qu'il soit difficile de respecter la mise en place de la membrane d'étanchéité et de l'enrobé permanent dans les délais autorisés au CCDG, ce qui pourrait forcer la mise en place d'un enrobé temporaire dans ces circonstances. Cependant, il peut arriver que le concepteur, se croyant sûr que l'enrobé permanent serait posé avant la fin de la période autorisée pour la pose de la membrane d'étanchéité, ait choisi le code d'ouvrage qui ne concerne que l'enrobé permanent. Dans ce dernier cas, le surveillant ne doit pas permettre la pose de la membrane d'étanchéité et de l'enrobé permanent dans des conditions défavorables sous prétexte que le paiement n'est pas prévu au bordereau; il doit plutôt négocier avec l'entrepreneur un prix pour l'enrobé temporaire et procéder à sa pose.

PHOTOGRAPHIES

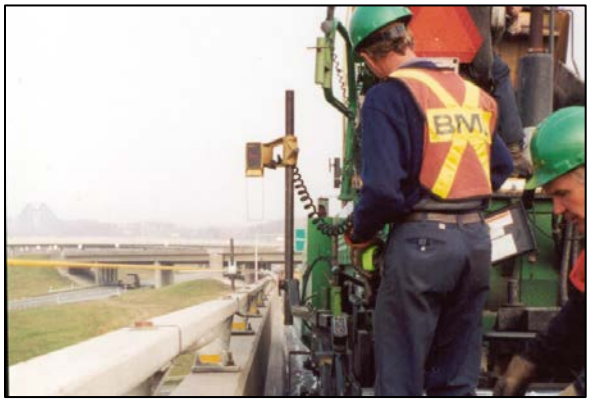
REVÊTEMENT EN ENROBÉ



Planeur de 1,8 m de largeur – mesure de l'épaisseur planée



Planeur de faible largeur opérant près d'un joint de tablier



Mise en place de la couche de correction (avec guide)



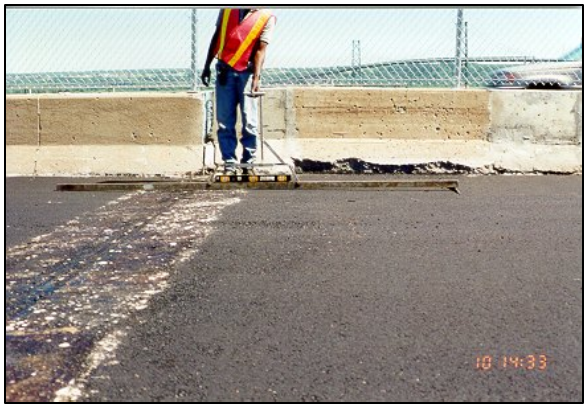
Biseau entre joint de tablier en biais et finisseuse (correction sur dalle existante)



Compactage près d'un joint de tablier



Compactage près d'un drain



Vérification du profil vis-à-vis d'un joint de tablier (règle de 3 m)



Vérification de profils avec niveau électronique



Vérification de la drainabilité (correction sur dalle existante)



Mesure de la compacité au nucléodensimètre



Sciage d'un joint froid (travaux en phases)



Bâche conforme

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 11 – REVÊTEMENT EN ENROBÉ

NOTES

MATÉRIAUX

- Liant d'accrochage
  - Voir l'article 13.2.1 du CCDG
  - Pas de bitume fluidifié
- Enrobé à chaud
  - Voir l'article 13.3.1 du CCDG

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

- L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite notamment selon les prescriptions du Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport ainsi que du Guide de contrôle de la qualité des enrobés à chaud
- Voir aussi le Guide de contrôle de la qualité des enrobés publié par la DGLC
- Contrôle de la température du mélange à faire (centrale d'enrobage et chantier)
- Réévaluation de la compacité : nucléodensimètre à transmission directe (insertion tige dans trou de 52 mm)

MISE EN ŒUVRE

- Travaux réalisés en phases : revêtement de chaque phase à effectuer avant le début de l'ensemble des travaux d'une autre phase

Préparation de la surface déjà recouverte d'enrobé

- Correction du profil à l'approche
  - Distance selon devis spécial (à augmenter au besoin)
  - 300 mm de nouveau matériau MG 20
  - Compaction : 98 % Proctor modifié (couche de 200 mm)
  - Ajustement des glissières (voir chapitre 9 de ce manuel)
  - Rechargement des accotements
- Remplissage des excavations
  - Structure existante : remplacement d'un joint de tablier ou joint dalle sur culée
  - À faire selon les indications du CCDG pour éviter dépressions sur pavage (voir chapitre 2 de ce manuel)

Note : Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Travaux de décapage
  - À permettre si possible de poser la membrane d'étanchéité dans période autorisée, sinon attendre au printemps suivant
    → Période autorisée : du 15 mai au 1er novembre (zone 1) ou du 15 mai au 15 octobre (zones 2 ou 3)
  - Dalle et approches
  - Enrobé et membrane d'étanchéité à enlever (dalle neuve : enrobé temporaire à enlever)
  - Faire traits de scie (20 mm sur dalle et 50 mm aux approches)
  - Après décapage : seul un film de bitume est toléré (si difficultés : procéder par temps frais)
  - Ne pas endommager la dalle
  - Matériaux de rebuts : à évacuer au fur et à mesure
  - Matériel
    → Respecter la capacité affichée du pont correspondant à un camion à deux essieux
    → Équipement de **masse totale en charge inférieure à 23 t**
    → **Planage interdit**
- Correction par planage
  - Voir les articles 13.1.3.2.2 (Généralités) et 15.11.3.1.2 (Particularités aux ponts) du CCDG
  - Procéder au relevé des épaisseurs du revêtement existant
    → Ne pas endommager la membrane d'étanchéité et la dalle (attention au centre des travées)
  - Rétablir au mieux les profils transversal et longitudinal (0,5 % minimum vers drains)
  - Près des joints de tablier
    → À faire juste avant la pose du nouveau revêtement
    → Enlever le convoyeur du planeur
    → Protéger les épaulements des joints (éclatement du béton)
  - Zones de faible adhérence et 600 mm au pourtour
    → À décaper (enlever enrobé et membrane)
    → À réparer avant resurfaçage (ESG-10 pour 40 mm et plus, EC-10 si inférieur)
  - Assurer l'écoulement des eaux en tout temps (trous sur côtés des drains)
  - Balayage des surfaces immédiatement derrière le planeur
  - Matériel
    → respecter la capacité affichée du pont correspondant à un camion à deux essieux
    → Masse totale en charge maximale de 32 t, y inclus l'eau, lorsque le pont n'est pas affiché
    → possibilité d'utiliser un planeur avec mandrin de largeur de 1 m pour abords de glissières et joints

Liant d'accrochage

- Voir les articles 13.2.4 (Généralités), 13.3.4.3 (Joints longitudinaux) et 15.11.3.2 (Particularités aux ponts) du CCDG
- Surface propre, sèche et non gelée (par temps froid : voir texte de ce chapitre)
- Surfaces à recouvrir : bordures, drains, épaulements de joints de tablier, entre les couches et les bandes d'enrobé
- Ne pas salir surfaces environnantes (pose au rouleau à 600 mm minimum près des bordures)

Note : Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Bitume résiduel : 0,20 ℓ/m^2
- Épandage non uniforme : brosser surface
- Attendre cure du liant avant de paver (saison froide : rupture du liant suffit (changement de couleur du brun au noir))
- Interdire véhicules sur surfaces traitées

Enrobé préparé et posé à chaud

- Voir les articles 13.3.4 (Généralités) et 15.11.3.3 (Particularités aux ponts) du CCDG
- Avis de 24 heures à demander
- Matériel
  - Respecter la capacité affichée du pont (correspondant à un camion à deux essieux)
  - Masse totale en charge maximale de 28 t si pas d'affichage
  - Finisseuses seulement (pose manuelle : endroits inaccessibles)
  - Largeur minimale de 3 m (excluant rallonges)
  - Maintien d'une distance libre de 20 m entre les finisseuses
  - Rouleaux : poids $>$ 10 t
  - Niveleuse interdite
  - Pas de rouleaux vibrants sur le pont ni à moins de 2 m des culées
  - Rouleaux à pneus : pour couche de correction (voir texte de ce chapitre)
- Conditions météorologiques
  - Surfaces sèches, pas de précipitations
  - T° ambiante conforme (épaisseur $<$ 50 mm : T° $>$ 10 °C, épaisseur $>$ 50 mm : T° $>$ 2 °C
  - Bâches efficaces sur camions (perte de 15 °C max.)
  - Par temps froid : coordination plus serrée des rythmes de fabrication et de pose
- Membrane d'étanchéité
  - Propreté des pneus ou des chenilles des équipements
  - Finisseuses : minimum « d'arrêts et départs » et remise en marche en douceur
  - Délai maximal de 3 jours pour poser revêtement après pose de la membrane
  - Réparer poches d'air avant, pendant le pavage et pendant la compaction de l'enrobé
- Joints de tablier
  - Protéger les épaulements, la garniture et le vide entre les profilés d'enclenchement avant et pendant le pavage
  - S'assurer que l'enrobé compacté se trouve entre 0 et 5 mm au-dessus des épaulements du joint
- Drains
  - À bloquer (cours d'eau, trafic)
- Joints longitudinaux
  - À réduire le plus possible
  - Décaler les joints de 300 mm (correction et couche de surface)
  - Localiser si possible les joints entre les voies de circulation (couche de surface)
  - Traitement bande d'enrobé déjà posée (couche de surface):
    $\rightarrow$ T° < 85 °C : enlever le biseau (trait de scie)

- Travaux réalisés en une seule phase
  → Pas de joints longitudinaux froids
- Travaux réalisés en plus d'une phase
  → Joints longitudinaux froids localisés entre les phases seulement

– Joints transversaux
- Pas de joints transversaux sauf urgence

– Mise en place de l'enrobé sur une dalle existante
- 2 étapes : correction et surface (après planage : couche de surface seulement)
- Couche supplémentaire d'enrobé sur les approches (à poser en premier)
- Enrobé sur partie de pont : correction manuelle et couche de surface à la finisseuse
- Correction à l'enrobé
  → Coordination des rythmes de fabrication et de pose
  → Enrobé EC-10 en 1 ou plusieurs couches (ESG-10 si couche supérieure à 40 mm)
  → Épaisseur minimale de 25 mm
  → Relevé d'arpentage
    - À faire par entrepreneur lorsque demandé au CCDG (sur lignes longitudinales indiquées)
    - Relevé d'arpentage et liste des épaisseurs du revêtement : à remettre au moins 5 jours avant les travaux
    - Vérifier méthode de pose et les profils proposés
    - Si profils révisés par le surveillant : les remettre à l'entrepreneur au plus tard 5 jours après la réception des profils de l'entrepreneur
  → Vérification de la capacité portante
    - Vérifier épaisseurs proposées : 75 mm max. en moyenne ou 90 mm max. en tout point; si dépassement, vérifier la capacité portante du pont
  → Travaux
    - T° maximale entre les couches : 85 °C
    - Compactage : 4 passages de rouleau à pneus (pour partie de pont : 4 passages de plaque vibrante)
    - Vérifier profils (niveau électronique et eau) (0,5 % min. vers drains)
    - Près des joints de tablier
      - Épaisseur de l'enrobé : bourrelet d'enrobé à enlever (couche de correction)
      - Compactage de l'enrobé : petit rouleau circulant selon l'axe des joints
    - Autoriser couche de surface si drainage des eaux est correct (camion-citerne)
- Couche de surface
  → Coordination des rythmes de fabrication et de pose
  → Enrobé EG-10 ou ESG-10 (40 mm)
  → Lorsque demandé
    - Bordures en enrobé aux extrémités du pont
    - Vérification des joints transversaux (règle de 3 m)
    - Trait de scie de 6 X 20 mm (si pas de joint de tablier ou joint de tablier avec épaulements en acier (anciennement appelé « type HSS ») à culée)
      - Attendre 24 heures

→ T° maximale de la couche de correction : 85 °C

→ Compactage

- Vérifier au nucléodensimètre lors du pavage (par entrepreneur)

→ Vérifier profils avec règle de 3 m

→ Joints de tablier : vérifier profil avec règle de 3 m centrée sur le joint avant refroidissement de l'enrobé

→ Drains : dépression de 15 mm sur 150 mm (45 ° ensuite)

→ Remise en circulation : T° < 85°C

→ Vérifier le drainage des eaux (article 13.3.4.7 du CCDG et pluie)

– Mise en place de l'enrobé sur dalle neuve

- 1 seule couche d'enrobé de 65 mm (posée comme couche de surface de dalle existante)
- Enrobé temporaire

→ À exiger lorsque période autorisée pour poser la membrane d'étanchéité est dépassée

→ Pas de liant d'accrochage

→ Épaisseur : 40 mm sauf si joints de tabliers et vitesse > 50 km/h (voir devis spécial)

→ À enlever avant pavage permanent

CHAPITRE 12

MURS DE SOUTÈNEMENT HOMOLOGUÉS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **12-1**

NORMES **12-2**

12.1 DOCUMENTS REQUIS **12-3**

12.2 EXIGENCES DE CONCEPTION **12-4**

12.3 MATÉRIAUX **12-6**

12.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ **12-6**

12.4.1 Matériaux granulaires du massif des murs remblais renforcés ou à ancrages multiples 12-8

12.5 MISE EN ŒUVRE **12-8**

12.5.1 Fond des excavations 12-11
12.5.2 Mise en place des matériaux granulaires du massif des murs remblais renforcés ou à ancrages multiples 12-11
12.5.3 Construction de la paroi en blocs de béton imbriqués 12-12
12.5.4 Géométrie 12-12

FIGURES

Figure 12.2-1 Profondeur des fondations 12-5
Figure 12.5-1 Mur remblai renforcé – exemple 12-10

PHOTOGRAPHIES 12-15

AIDE-MÉMOIRE 12-17

INTRODUCTION

Les murs qui sont construits pour le Ministère sont des murs conventionnels ou des murs homologués.

Dans le cas de murs conventionnels, les plans et devis fournissent l'information nécessaire à leur construction. Ce chapitre ne s'applique qu'aux murs homologués, il faut donc se référer au chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel pour les murs conventionnels. Il faut également se référer aussi aux chapitres 4, 7 ou 8 de ce manuel pour la réalisation d'éléments des murs homologués en béton, coulé en place ou préfabriqué, en acier ou en bois.

Lorsqu'il s'agit de murs homologués, les documents d'appel d'offres ne donnent pas tous les détails nécessaires à leur construction, puisque le type de mur à construire n'est pas encore déterminé au moment des soumissions. En effet, l'entrepreneur doit choisir le mur qui convient au projet parmi ceux indiqués dans le devis spécial.

Les murs homologués sont commercialisés par différents fournisseurs qui détiennent des droits de propriété ou des licences de commercialisation. Il arrive que certains de ces murs soient protégés par des brevets. Le surveillant n'a pas à se préoccuper de ces notions légales.

Plusieurs des murs homologués font appel à la technique des remblais renforcés; dans ce groupe, ces murs se distinguent par le type d'inclusion de renforcement du massif et par la nature de la paroi. Les autres murs homologués sont les murs poids, les murs en porte-à-faux et les murs à ancrages multiples.

Le principal défi de l'entrepreneur et du surveillant concernant la construction d'un mur homologué consiste à ériger un ouvrage peu courant pour lequel ils n'ont souvent que peu d'expertise. Par contre, pour ce type d'ouvrage, la présence d'un représentant qualifié du fournisseur du mur, afin d'appuyer techniquement les intervenants au chantier, est demandée au CCDG. Cette particularité des murs se reflète dans le contenu du présent chapitre où seules les grandes lignes directrices sont abordées. Bien que ce représentant soit mandaté par l'entrepreneur, le surveillant doit établir une relation étroite avec lui afin d'être en mesure de bien saisir les contraintes techniques du mur à construire. Pour ce faire, une rencontre doit être organisée avant les travaux à laquelle assistent l'entrepreneur, le représentant du fournisseur du mur et le concepteur des plans de soumission afin de revoir l'ensemble des documents contractuels (devis spécial, CCDG, avis technique, plans et devis fournis par l'entrepreneur) pour s'assurer que les exigences du Ministère et celles du fournisseur sont bien comprises par tous les intervenants. L'avis technique est disponible sur le site Internet du Ministère.

Mentionnons aussi que le fournisseur du mur a tout intérêt à ce que le déroulement des travaux se fasse adéquatement. En effet, s'il se présentait des problèmes concernant un type de mur en particulier sur un chantier, le Ministère pourrait en révoquer l'homologation.

De manière à être en mesure d'évaluer le mur utilisé, la Direction générale des structures (DGS) du Ministère demande au surveillant de lui fournir à la fin des travaux une évaluation de la qualité du produit et de sa mise en place. Cette évaluation doit être écrite (lettre, note ou courriel) et doit inclure les éléments suivants :

- mise en œuvre et méthode de travail;
- réunion avant la fabrication des éléments préfabriqués;
- présence du représentant du fournisseur du mur au début des travaux;
- disponibilité du fournisseur pour répondre aux questions de chantier liées à son produit;
- particularités ou difficultés vécues lors des travaux;
- géométrie et apparence du mur à la fin des travaux.

Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres points jugés pertinents pour apprécier l'ouvrage peuvent être ajoutés.

NORMES

Afin d'alléger le texte, la description complète des normes citées dans le présent chapitre est faite ici. Ces normes sont :

– NQ 2560-114 :	Travaux de génie civil – Granulats
– CAN/CSA-S6 :	Code canadien sur le calcul des ponts routiers
– CAN/CSA-A23.4 :	Béton préfabriqué : constituants et exécution des travaux/règles de qualification pour les éléments en béton architectural et en béton structural préfabriqué
– Norme 2104 du Ministère :	Matériaux filtrants
– Norme 3101 du Ministère :	Bétons de masse volumique normale
– Norme 3403 du Ministère :	Blocs remblais
– Norme 5101 du Ministère :	Armature pour les ouvrages en béton
– Norme 6201 du Ministère :	Boulons, tiges d'ancrage, écrous et rondelles en acier
– Norme 13101 du Ministère :	Géotextiles

Mentionnons que les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) et par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

12.1 DOCUMENTS REQUIS

Devis de construction, plans d'atelier et note de calcul

Les renseignements sur les plans de soumission sont limités. Ils comprennent la vue en plan pour la localisation du mur, une vue en élévation et des coupes types. Ces dernières montrent la fiche, les éléments de la fondation, la position de la paroi, le couronnement, ainsi que l'aménagement du terrain au haut et au bas du mur. Les renseignements complémentaires nécessaires à la construction doivent être fournis par l'entrepreneur.

Lorsque des barres d'armature sont fixées par soudure, les plans d'atelier doivent en faire mention et le certificat de qualification d'usine et des soudeurs selon la norme CSA W186 doit être joint aux plans d'atelier (CCDG 15.12.1) (réf. CSA W186 « Soudage des barres d'armature dans constructions en béton armé »; la certification A23.4 n'inclut pas la W186).

Le devis de construction ainsi que les plans d'atelier et la note de calcul doivent être remis au surveillant par l'entrepreneur. Les plans d'atelier doivent contenir, notamment la description des dispositifs de levage lorsque ceux-ci sont prévus. Bien que la conception des murs doive être conforme à la norme CAN/CSA-S6, cette exigence du CCDG concerne peu le surveillant. Par contre, le surveillant doit s'assurer que ces documents sont signés et scellés par un ingénieur concepteur et signés par un ingénieur vérificateur, avant de les transmettre au concepteur des plans de soumission.

Le devis de construction doit préciser la méthode de travail et les équipements nécessaires à la mise en place du mur. Le surveillant est tenu de s'assurer que ces méthodes de travail sont respectées par l'entrepreneur et de signaler toute non-conformité au fournisseur du mur ou à son représentant lorsque ce dernier est présent sur les lieux.

L'entrepreneur doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG pour la remise de ces documents, y compris le délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour les étudier et le nombre minimal de copies à fournir.

Le surveillant doit faire viser les plans d'atelier, la note de calcul et le devis de construction par le concepteur des plans de soumission, lequel doit les retourner au surveillant après y avoir apposé son visa. Le visa est un acte par lequel le concepteur reconnaît que le plan est conforme dans ses grandes lignes aux documents contractuels; l'entrepreneur conserve cependant l'entière responsabilité de la conception, de l'exactitude des détails, des dimensions et des quantités. La figure 7.1-1 du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » du présent manuel montre l'estampe type utilisée à titre de visa.

Les dispositifs de levage doivent être conformes aux exigences présentées à la section 4.3.1.3 « Accessoires des coffrages » du présent document. Le Ministère spécifie également trois mortiers avec latex (plus performants) pour le recouvrement en chantier des dispositifs de levage.

La fabrication des éléments préfabriqués des murs ne peut pas débuter avant que les plans d'atelier visés aient été retournés à l'entrepreneur et qu'une réunion préalable à la fabrication (CCDG 15.4.3) soit faite.

12.2 EXIGENCES DE CONCEPTION

Les exigences de conception indiquées dans le CCDG s'adressent au concepteur du plan de soumission ainsi qu'à l'entrepreneur pour la préparation des plans d'atelier et de la note de calcul des murs homologués. Il n'incombe pas au surveillant de vérifier la conformité de ces documents en regard de ces exigences.

La hauteur de fiche des murs doit respecter la valeur donnée aux plans et devis qui tiennent compte de l'étude géotechnique et de l'affouillement hydraulique lorsque l'ouvrage est installé à proximité d'un cours d'eau.

La hauteur de fiche est également fonction de sa sensibilité aux tassements différentiels. La sensibilité au tassement différentiel et la hauteur minimale de la fiche sont indiquées au chapitre 5 « Murs » du *Tome III – Ouvrages d'art* des normes du Ministère.

Pour les murs ayant une sensibilité élevée au tassement différentiel, la fiche doit correspondre, au minimum, à la profondeur de gel.

Pour les murs qui sont moyennement sensible au tassement différentiel, il est possible de limiter la fiche à 400 mm pourvu que le sol de fondation contenu à l'intérieur d'un rayon correspondant à la profondeur de gel soit de nature granulaire et bien drainé (voir la figure 12.2-1). Dans ce cas, le sol existant sous le mur peut être laissé ou non en place, comme l'indique le devis spécial. Dans tous les cas, l'entrepreneur doit densifier le sol ou le matériau granulaire de remplacement à 95 % de la masse volumique sèche maximale obtenue avec l'essai Proctor modifié. Le surveillant doit veiller à ce que des essais de compaction soient réalisés et à ce que la densité requise soit obtenue.

Pour les murs avec une faible sensibilité aux tassements différentiels, la fiche peut être limitée à 400 mm. C'est le cas pour un mur poids en gabions, un mur remblai renforcé par des treillis métalliques avec paroi en gabions, un mur caisson en acier et un mur caisson en bois, dont la paroi repose directement sur le sol.

Aucune fiche n'est spécifiée pour un mur reposant sur le roc mais un encastrement de 150 mm doit être prévu pour les fondations du mur.

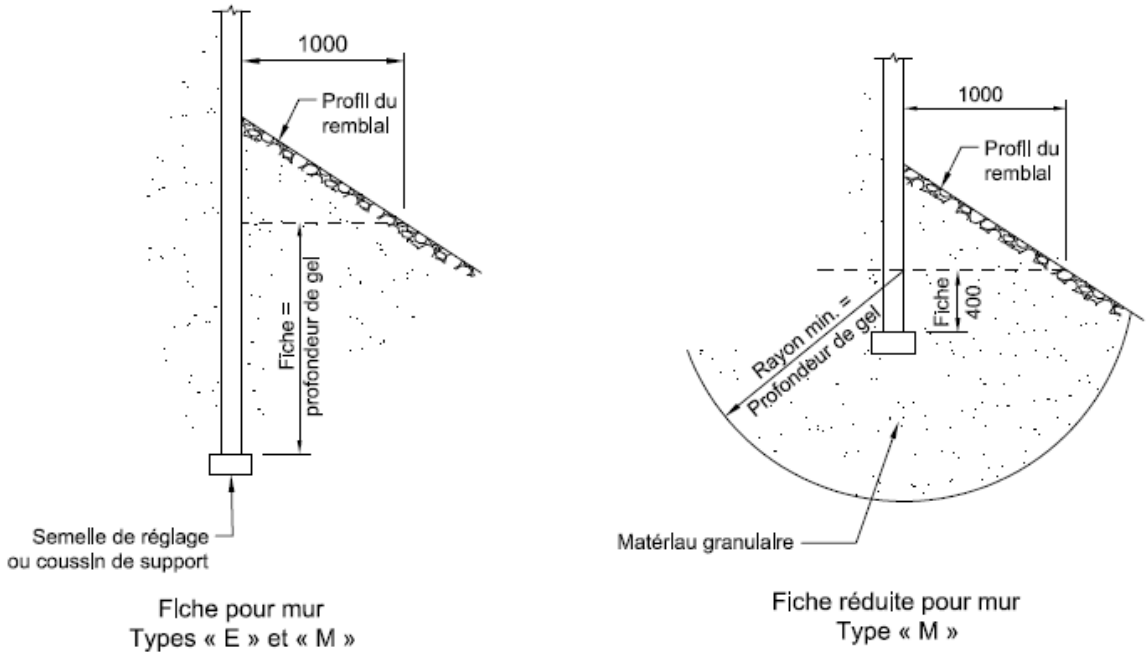


Figure 12.2-1 Profondeur des fondations

Drainage

Des drains doivent être installés comme prévu dans les plans d'atelier. Les drains ont pour fonction de capter les eaux d'infiltration derrière le mur afin d'éviter la formation de pressions hydrostatiques. Le système de drainage doit également tenir compte de l'écoulement des eaux de ruissellement.

De plus, dans le cas d'un mur de remblai renforcé, l'accumulation d'eau dans le massif renforcé aurait pour effets de diminuer la friction du sol sur les inclusions et de réduire ainsi la résistance structurale du mur. Lorsque l'étude de sol qui est effectuée avant la conception du mur indique la présence d'eau d'infiltration ou l'existence d'une nappe d'eau captive dans le sol à retenir, un drain est prévu entre le massif et le sol à retenir. Si le projet ne comporte pas ce dispositif de drainage et que le surveillant observe des venues d'eau lors des travaux d'excavation, il doit en informer le concepteur.

Pour les murs en blocs de béton imbriqués ou avec une paroi en blocs de béton imbriqués (avec ou sans connecteurs mécaniques), les murs avec paroi en béton armé ainsi que les murs caissons en acier, le système de drainage doit comprendre une tranchée verticale de matériaux filtrants 20 à 5 ou de tout calibre compris entre 5 et 40 mm conformes aux exigences de la norme 2104 du Ministère. Cette tranchée doit avoir une épaisseur minimale de 300 mm, et doit être située directement à l'arrière de la paroi du mur et séparée du remblai par une membrane géotextile.

Même si les plans ne l'indiquent pas, le surveillant doit veiller à ce que les drains soient raccordés à une conduite d'égout pluvial ou qu'ils débouchent dans un fossé de manière à ce que l'eau captée soit évacuée.

12.3 MATÉRIAUX

Les matériaux granulaires pour la construction des massifs des murs de type remblais renforcés ou à ancrages multiples doivent être conformes aux exigences pour les matériaux de fondation de la norme BNQ 2560-114. Ainsi, ils peuvent être de type MG20, MG20b, MG31,5, MG56, MG80 ou MG112. Ces matériaux font l'objet d'exigences particulières dans le CCDG selon qu'ils sont concassés ou non. Par exemple, un matériau granulaire répondant aux exigences du fuseau granulométrique du MG 112 peut être employé seulement s'il provient d'une sablière (non concassé) et si l'angle de frottement interne de la portion de sol plus fine que 2 mm est d'au moins 34°. Les autres matériaux granulaires sont acceptés d'emblée, car l'angle de frottement interne est toujours adéquat. L'exigence d'avoir un matériau non concassé vise à éviter d'avoir de grosses pierres anguleuses qui pourraient endommager les inclusions. Le CCDG précise que, lorsqu'un mur utilise des inclusions en géosynthétique ou métallique recouvertes de PVC ou d'époxy, la taille des particules doit être limitée à 31,5 mm pour éviter d'endommager de type d'inclusion plus sensible. Un fournisseur d'un mur homologué peut exiger un matériau en particulier. Pour ce faire, une note spéciale à cet effet doit être incluse dans l'avis technique ou le devis de construction du mur.

Lorsque les fabricants des murs préfabriqués en béton désirent avoir un affaissement du béton au-delà de ce qui est autorisé par les exigences du béton de type V-S, soit 160 mm au maximum, il est précisé au CCDG qu'il peut utiliser un béton de type V, XIV-C (autoplaçant de construction) ou XVII-P (semi-autoplaçant de préfabrication) en remplacement du béton de type V-S afin de diminuer l'apparition de nids d'abeille.

12.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport.*

Béton et armature

Le surveillant doit se référer à l'article 15.4.2 « Assurance de la qualité » du CCDG pour plus d'information au sujet du béton et de l'armature. Le surveillant n'a pas à faire le suivi en usine de la fabrication des inclusions métalliques des murs, puisqu'il est toujours possible de vérifier la qualité de celles-ci lors de la livraison.

Béton préfabriqué

L'usine chargée de la fabrication des éléments en béton préfabriqué des murs doit être certifiée conformément à la norme CAN/CSA-A23.4. Cette exigence de l'article 15.4.2.1.2 « Certification du fabricant d'éléments en béton préfabriqués » du CCDG est importante, puisque la certification permet au Ministère d'avoir l'assurance que l'usine est en mesure de procéder à la fabrication selon les exigences de cette norme.

Une attestation de conformité pour les éléments de façade des murs de soutènement homologués en béton préfabriqué est exigée; ces éléments doivent être fabriqués avec le même type de béton. L'attestation doit être remise à la livraison des murs et au minimum sept jours avant leur utilisation. L'attestation vise à assurer la conformité des éléments.

Une réunion préalable doit être tenue avant la fabrication des éléments en béton préfabriqué, comme cela est indiqué à l'article 15.4.3 « Mise en œuvre » du CCDG. Le surveillant doit se référer à la partie 4.3 « Mise en œuvre » du chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel pour plus d'information à ce sujet.

L'entrepreneur doit aviser le surveillant, au moins quatre semaines avant la tenue de la réunion préalable à la fabrication, du nom de son fournisseur et de l'usine à laquelle la fabrication aura lieu. Ces informations doivent être acheminées au responsable du contrôle de la qualité de la direction territoriale le plus tôt possible, de façon à ce que ce dernier puisse organiser la surveillance en usine. Plus de détails sur ce point sont présentés à la section 4.3 du manuel, à la sous-section « Éléments en béton préfabriqués ».

Les éléments préfabriqués d'une même structure doivent provenir d'un seul fournisseur.

Le CCDG contient des exigences pour s'assurer que des murs de soutènement fabriqués dans deux usines différentes ont des couleurs et des apparences relativement uniformes. Les exigences de comparaison d'échantillons lors de la réunion préalable à la fabrication sont particulièrement importantes dans le cas des murs utilisant des parois en béton.

Les exigences concernant la température maximale du béton durant la cure accélérée et celle d'entreposage sont décrites à l'article 15.4.3.5.10 « Cure des éléments en béton préfabriqués » du CCDG. Le surveillant doit rejeter un élément de mur lorsque la température mesurée du béton durant la cure excède 70 ^{o}C (60 + 10), car au-delà de cette température, des problèmes importants liés à l'apparition de l'ettringite secondaire peuvent réduire considérablement la durée de vie de l'élément.

Mentionnons finalement que la DGS a produit un formulaire (F316.1, disponible sur le site Internet du Ministère) pour consigner les résultats des vérifications sur les éléments de béton préfabriqués en usine. Bien que ces vérifications ne soient pas effectuées directement par le surveillant, ce dernier doit s'assurer que celles-ci ont bel et bien été effectuées à l'usine.

Avis technique

À chaque mur homologué correspond un « avis technique » particulier. Ce document contient des renseignements tels que l'identité du fournisseur, la description et les caractéristiques du produit ainsi que ses limites d'utilisation. L'avis technique comprend aussi des exigences complémentaires à celles des autres documents du contrat. L'avis technique est un document contractuel.

12.4.1 Matériaux granulaires du massif des murs remblais renforcés ou à ancrages multiples

Attestation de conformité

Une attestation de conformité est exigée pour chaque source de matériaux granulaires. De plus, lorsque le surveillant observe des changements notables dans l'apparence du matériau (couleur ou granulométrie) ou dans le comportement du remblai au cours de la progression des travaux, une nouvelle attestation de conformité doit être exigée.

Contrôle de réception

Compte tenu de l'importance du remblai renforcé sur la tenue structurale du mur, il est impératif que le surveillant soit des plus vigilants dans le contrôle de réception de ce matériau. Ce contrôle doit se faire selon les modalités de l'article 12.3.4 « Contrôle de réception » du CCDG avec un certain nombre de précisions. Ces précisions viennent en fait resserrer le contrôle de façon marquée par rapport à ce qui se fait sur les routes compte tenu de l'aspect structural mentionné précédemment.

12.5 MISE EN ŒUVRE

Le surveillant doit s'assurer que les éléments en béton préfabriqués ne soient pas transportés de l'usine vers le chantier avant que la cure ne soit complétée. Ce qui implique généralement que le béton ait atteint sa résistance à 28 jours. Cette exigence du devis spécial est importante avant d'éviter tout bris prématuré des éléments lors du transport; tout élément transporté avant l'atteinte de cette résistance doit être refusé.

Plusieurs des murs homologués font appel à la technique des remblais renforcés; dans ce groupe, ces murs se distinguent par le type d'inclusion de renforcement du remblai et par la nature de la paroi. La figure 12.5-1 montre un exemple type d'un mur remblai renforcé. Le mur comprend la paroi ainsi que le remblai renforcé appelé aussi massif.

Il est exigé dans le CCDG que l'entrepreneur prévoit l'assistance d'un représentant qualifié du fournisseur du mur afin d'assurer une mise en place adéquate de la fondation et de tous les éléments constituant le mur. Le nom de ce représentant doit être fourni au surveillant au moins sept jours avant le début de l'installation. Le représentant doit être présent lors de la réunion de chantier qui précède l'installation du mur et doit discuter de la procédure de mise en place, donc du devis d'installation du

mur. Il est important que le surveillant et l'entrepreneur prennent connaissance de ce document avant l'installation puisqu'il contient des exigences de mise en œuvre propres au ponceau à installer.

La présence du représentant est ensuite exigée sur le chantier au début de la mise en place des premiers éléments du mur, et au besoin par la suite. Sa présence au début de la mise en œuvre lui permet notamment de constater la conformité de la fondation du mur et de guider l'entrepreneur dans la manipulation et l'installation des éléments afin de respecter par exemple les espacements maximaux entre les éléments et les critères de verticalité.

Dans un délai de sept jours suivant la fin des travaux de mise en œuvre d'un mur de soutènement homologué, le devis spécial exige que l'entrepreneur remette au surveillant le formulaire « Attestation de conformité d'installation d'ouvrage homologué ». Ce dernier doit être signé par l'entrepreneur et l'ingénieur du fournisseur. Rappelons que le devis de construction est celui qui est produit par le fournisseur et qu'il fait partie des documents à remettre avant les travaux. Il est essentiel que le représentant qualifié du fournisseur soit présent de façon adéquate au chantier afin d'assister l'entrepreneur et de permettre d'attester de l'installation conforme au devis de construction à la fin des travaux. L'ingénieur du fournisseur qui signe l'avis peut déléguer un représentant au chantier pour l'assister mais ce dernier doit travailler sous l'autorité et la supervision directe du signataire de l'avis. L'avis de conformité ne décharge pas le surveillant de ses responsabilités de vérification des exigences du devis spécial et du CCDG. Mentionnons en terminant que le surveillant doit transmettre à l'entrepreneur, s'il le demande, les résultats du contrôle de qualité des matériaux au chantier afin de permettre au fournisseur d'émettre son avis.

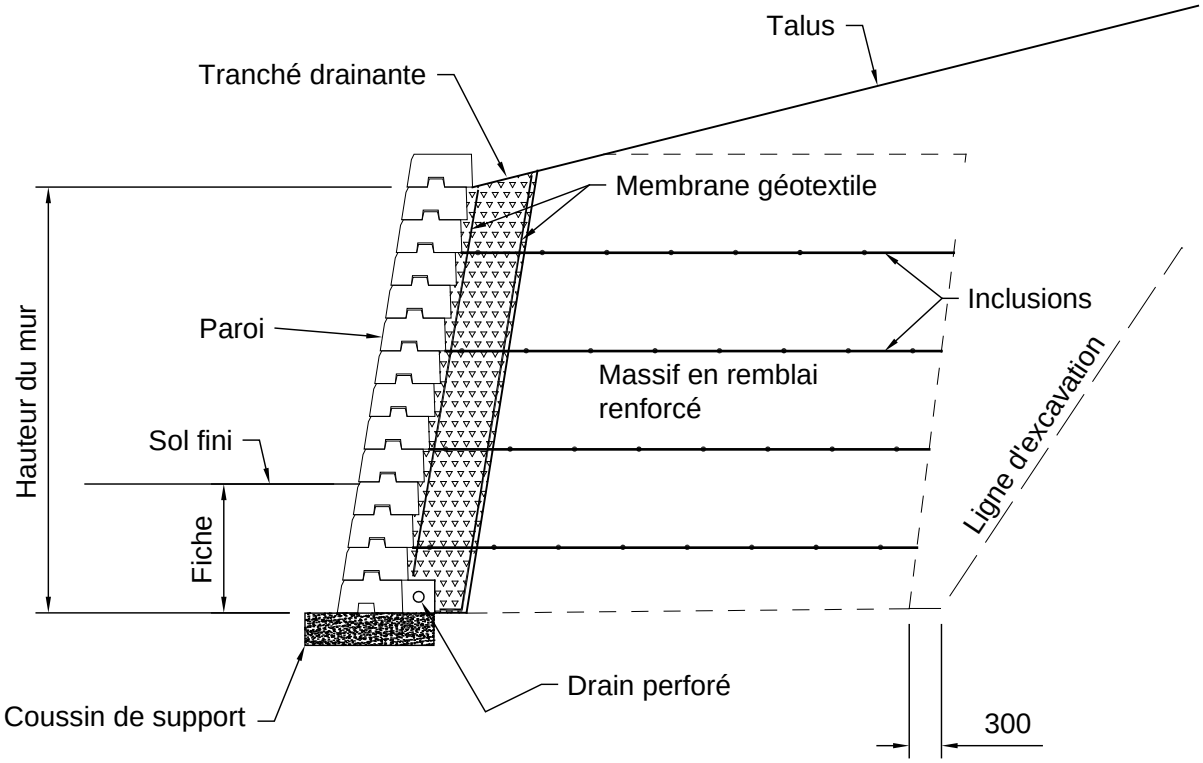


Figure 12.5-1 Mur remblai renforcé – exemple

Réception des matériaux

Que ce soit pour le transport sur le chantier ou lors des manutentions subséquentes, l'entrepreneur doit prendre les précautions nécessaires pour éviter tout dommage aux inclusions (armatures métalliques, treillis, étriers ou nappes de géogrilles) utilisées pour assurer la stabilité des murs.

Le surveillant doit s'assurer que les inclusions livrées au chantier et installées sont celles qui sont spécifiées dans les plans. Comme il existe divers produits d'apparence semblable, mais qui ont des propriétés différentes, la vérification est quelquefois difficile. Dans le cas des géogrilles, une fiche technique doit les accompagner et les rouleaux doivent arriver dans leur emballage original pour permettre au surveillant de vérifier la correspondance entre la géogrille et la fiche technique. De même, les géotextiles doivent être accompagnés d'une fiche technique et arriver dans leur emballage original bien étiqueté.

Membrane autocollante pour joints

Lorsque cela est stipulé aux plans et devis, les joints entre les éléments de murs préfabriqués doivent être recouverts de deux bandes de membrane autocollante pour joints (une première bande de 300 mm suivie d'une deuxième bande de 500 mm). Les membranes sont posées après un délai minimal de 24 heures sans pluie et après que les poussières et les débris auront été enlevés au moyen d'un jet d'air. L'entrepreneur

doit de plus chauffer les surfaces à recouvrir au moyen d'un chalumeau au propane immédiatement avant sa pose. Ces exigences du CCDG (voir le chapitre 10 « Membrane d'étanchéité et membrane autocollante pour joints » de ce manuel) s'imposent afin d'optimiser l'adhérence de la membrane au béton.

12.5.1 Fond des excavations

Le surveillant doit prêter une attention toute particulière aux travaux de préparation des fondations, et ce, sur toute la surface sous le mur, afin d'éviter le tassement éventuel de l'ouvrage.

Bien que les excavations, les fondations et le coussin de support soient des notions couvertes au chapitre 2 « Fondations » de ce manuel, certaines notions plus spécifiques sont indiquées ici.

Mentionnons notamment l'exigence concernant l'autorisation que le surveillant doit donner à l'entrepreneur avant que ce dernier commence la construction du mur.

Nous rappelons aussi que dans le cas d'un mur remblai renforcé, le surveillant doit s'assurer que l'excavation à la base du mur a une largeur qui excède d'au moins 300 mm la longueur des inclusions. De plus, de manière à ce que les inclusions soient horizontales, le régalage du fond de l'excavation doit se faire sur cette largeur à la base du mur; le régalage de chacune des couches successives de matériaux granulaires dans la construction du massif doit aussi être effectué, et ce, pour les mêmes raisons.

<u>Semelle de régalage</u>

Comme la paroi des murs homologués se compose souvent de plusieurs éléments, une semelle de régalage est mise en place principalement pour s'assurer que la base du mur obtenue est parfaitement horizontale. Les semelles de régalage sont requises pour les murs comprenant des éléments préfabriqués en béton armé de grandes dimensions. La semelle de régalage est faite de béton coulé en place ou d'éléments en béton préfabriqué. Dans le cas d'une semelle préfabriquée, le surveillant doit s'assurer que la surface de l'assise est régulière.

12.5.2 Mise en place des matériaux granulaires du massif des murs remblais renforcés ou à ancrages multiples

Le contrôle de la densité des matériaux granulaires est primordial dans la construction des massifs d'un mur remblai renforcé afin que les efforts sur le mur puissent être transférés correctement au sol. Même si les matériaux respectent les normes, des problèmes sont à prévoir si leur mise en place ne l'est pas. La compacité de chaque couche de matériaux granulaires doit être vérifiée à l'aide d'un nucléodensimètre conformément à l'article 11.9.1 du CCDG.

Le surveillant doit s'assurer que, durant une pluie abondante de longue durée (plus d'une journée), les travaux de construction du massif soient interrompus et que ceux déjà exécutés soient protégés par une toile imperméable et une pente adéquate pour l'écoulement de l'eau ou par un autre moyen équivalent. De même, à la fin de chaque jour de travail, lorsque de la pluie est prévue durant la nuit, une pente doit être aménagée sur le dessus du remblai pour faciliter l'écoulement des eaux de surface, et des précautions doivent être prises pour éviter l'érosion des sols en place.

La construction de ce type de mur par temps froid peut exiger des modifications aux procédures conventionnelles selon le mur et le type de matériaux utilisés. Le devis de construction du mur devra en faire mention.

Dans le cas des murs de soutènement qui ne sont pas du type remblais renforcés ou à ancrages multiples, comme, par exemple, les murs en porte-à-faux ou les murs poids, les exigences pour les matériaux granulaires placés à l'arrière sont les mêmes que celles exigées pour les matériaux granulaires à l'arrière des culées (voir le CCDG, sous-section « 15.2 Fondations »).

Drainage

Rappelons que des drains doivent être installés lorsque cela est prévu dans les plans d'atelier. Si le projet ne prévoit pas ce dispositif de drainage et que le surveillant observe des venues d'eau lors des travaux d'excavation, il doit en informer le concepteur. Pour plus de détails, consulter la partie drainage de la section « Exigences de conception » du présent chapitre.

Dans le cas où la paroi est formée de pierres de granulométrie différente de celle du remblai et retenues par un grillage en acier, des toiles géotextiles doivent être installées avec soin afin d'empêcher la migration des matériaux.

12.5.3 Construction de la paroi en blocs de béton imbriqués

Le surveillant doit prêter une attention particulière à l'installation des géotextiles. En effet, la tranchée drainante, placée derrière la paroi du mur, doit être protégée par un géotextile afin d'empêcher la perte des matériaux granulaires.

12.5.4 Géométrie

Le surveillant doit vérifier l'implantation du mur faite par l'entrepreneur. Il doit s'assurer de la conformité aux plans et devis du niveau de la base ainsi que de l'alignement et de la verticalité (ou de l'inclinaison) de la paroi. Pour les parois comportant des éléments préfabriqués, l'entrepreneur s'assure que les éléments de la première rangée sont installés avec précision. Cette étape est déterminante pour assurer l'assemblage sans problème des éléments des rangées supérieures

Une vérification de l'alignement des éléments de la paroi d'un mur remblai renforcé doit être effectuée de façon continue par l'entrepreneur. Les tolérances concernant l'alignement horizontal et l'inclinaison de la paroi sont indiquées dans le CCDG ou dans

l'avis technique. Les mesures appropriées pour corriger un problème d'alignement consistent généralement à enlever le remblai et les inclusions du niveau concerné et à refaire l'ajustement des éléments de la paroi. Il peut arriver que des déplacements des éléments de la paroi se produisent après plusieurs levées du remblai renforcé. Cela peut se produire lorsqu'il y a des tassements dans les fondations en raison d'une mauvaise mise en place du remblai, d'un contenu excessif d'eau à la suite d'une forte pluie ou bien d'une compaction excessive résultant de l'emploi d'équipements de compaction trop lourds. Dans ce cas, le surveillant doit arrêter la construction sans délai et le concepteur doit évaluer la situation.

Lorsque les déformations d'un mur font que l'alignement ou l'inclinaison deviennent non-conformes aux exigences du CCDG ou de l'avis technique, ce mur doit être considéré comme non conforme et traité selon les dispositions de l'article 7.10 du CCDG. Il peut arriver que devant une telle situation, le fournisseur du mur émette un avis selon lequel la stabilité de ce dernier n'est pas compromise. Cet avis ne doit pas être considéré comme suffisant pour accepter le mur tel quel sans que des travaux correctifs soient entrepris.

PHOTOGRAPHIES

MURS DE SOUTÈNEMENT HOMOLOGUÉS



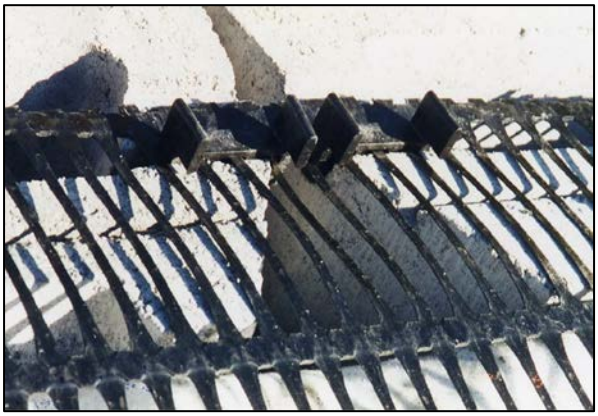
Mur à ancrages multiples avec paroi en béton armé



Éléments de paroi : regroupés et attachés pour le transport et le stockage



Mur remblai renforcé par des géogrilles avec paroi en blocs de béton imbriqués



Connexion mécanique des géogrilles aux blocs remblai



Mur en porte-à-faux en béton armé préfabriqué



Mur remblai renforcé par des armatures en acier avec paroi en béton armé

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 12 – MURS DE SOUTÈNEMENT HOMOLOGUÉS

NOTES

Ce chapitre s'applique qu'aux murs homologués, se référer au chapitre 4 de ce manuel pour les murs conventionnels. Se référer aussi aux chapitres 4, 7 ou 8 de ce manuel pour la réalisation d'éléments des murs homologués en béton coulé en place ou préfabriqué, en acier ou en bois.

Après les travaux, le surveillant doit faire parvenir à la DGS du Ministère une évaluation de la qualité du produit et de sa mise en place.

DOCUMENTS REQUIS

Devis de construction, plans d'atelier et note de calcul

- Signés et scellés par un ingénieur (signés par un 2e ingénieur)
- Visés par le concepteur des plans de soumission
- Plans d'atelier doivent inclure la description des dispositifs de levage (lorsque requis)

EXIGENCES DE CONCEPTION

- Voir CCDG (à l'intention du concepteur)
- Avis technique : document contractuel est disponible sur le site Internet du Ministère
- Fiche : Profondeur de gel (peut être réduit à 0,4 m comme indiqué à l'avis technique, voir texte de ce chapitre)
  - Sur roc : encastrement de 150 mm
  - Drainage: drains à installer si prévus aux plans d'atelier, eau doit être canalisée vers égout pluvial ou fossé
  - Il faut tenir compte de l'écoulement des eaux de ruissellement

MATÉRIAUX

Matériaux granulaires du massif des murs remblais renforcés ou à ancrages multiples

- Doit se conformer aux les exigences du CCDG (utiliser un matériau MG 112 non concassé. Si concassé : MG 20, MG20b, MG31,5, MG56 ou MG80)

Autres matériaux

- Béton
  - Norme 3101 du Ministère
  - Éléments préfabriqués : type V-S, V-P, XIV-C ou XVII-P
- Blocs remblais
  - Norme 3403 du Ministère

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Boulons
  - Norme 6201 du Ministère (boulons A 325 type 1 galvanisés)
- Géotextiles
  - Norme 13101 du Ministère (type spécifié aux plans d'atelier)
- Géogrilles
  - Norme AASTHO LRFD (article 11.10.6.4.2b-1)
- Membrane autocollante pour joints
  - Voir devis spécial et norme 3701 du Ministère
- Matériel filtrant
  - Norme 2104 du Ministère

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport.*

Matériaux granulaires du massif des murs remblais renforcés ou à ancrages multiples

- Attestation de conformité : pour chaque source de matériaux
  - À obtenir avant le début des travaux (ou lorsque changements notables dans l'apparence du matériau). L'attestation doit contenir les résultats de l'essai de cisaillement (lorsque requis)
- Contrôle de réception : Voir section 12 du CCDG (contrôle de réception après la mise en œuvre)
  - Lot : 1 000 m^2 de couches de matériaux (conformité : voir CCDG)
  - Droit de recours : laboratoire indépendant engagé par l'entrepreneur (échantillonnage pendant les travaux)

Béton préfabriqué

- Éléments préfabriqués en béton doivent provenir d'une usine certifiée selon CAN/CSA-A23.4
- Éléments d'un même mur doivent être fabriqués avec le même type de béton
- Nom du fournisseur et de l'usine de fabrication transmis au surveillant au moins 4 semaines avant la tenue de la réunion préalable
- Réunion préalable (surveillant, entrepreneur, représentant du fournisseur du mur et le concepteur des plans de soumission : voir article 15.4.3 du CCDG)
- Cure des éléments préfabriqués en béton : voir l'article 15.4.3.5.10 du CCDG
- Attestation de conformité pour les panneaux de béton des façades du mur

Géotextiles : voir article 12.6 du CCDG

Géogrilles : Attestation de conformité pour les géogrilles

- Attestation de conformité d'installation d'ouvrage homologué

Blocs remblais

- Contrôle de réception : 3 blocs remblais à conserver pour essais ultérieurs

MISE EN ŒUVRE

- Ne pas transporter les éléments préfabriqués en béton avant que la cure soit complétée.

Présence du représentant du fournisseur du mur homologué

- Doit être présent lors de la réunion de chantier précédent l'installation du mur et sur le chantier au début de la mise en place des éléments de la paroi, des inclusions, du remblai et au besoin par la suite

Réception des matériaux

- Vérifier conformité aux plans d'atelier des éléments préfabriqués livrés au chantier (pour géogrille et géotextile : vérifier fiche technique)

Membrane autocollante pour joints

- Membrane autocollante pour joints (voir chapitre 10 de ce manuel)
  - Vis-à-vis des joints non recouverts de membrane d'étanchéité : 2 bandes de membrane autocollante pour joints (300 et 500 mm) posées après une période de 24 heures sans pluie. Préchauffage préalable des surfaces (chalumeau au propane)

Fond des excavations

- Voir chapitre 2 de ce manuel (notamment coussin de support)
- L'entrepreneur doit attendre l'autorisation du surveillant avant de commencer la construction du mur
  - Régalage (selon l'horizontale) du fond d'excavation et de chacune des couches de remblai
  - Semelle de régalage
    → Coulée en place ou préfabriquée (exigée pour certains types de mur : voir plans d'atelier)

Mise en place des matériaux granulaires du massif des murs remblais renforcés ou à ancrages multiples

- Équipements de compaction (compacteurs dynamiques, plaques vibrantes ou rouleaux vibrants ayant poids inférieur à 8 kN par mètre de rouleau)
- Épaisseur de chaque couche de remblai : 300 mm sauf indication contraire
- Essais de compaction
  - Au moins 1 essai par couche de remblai et par 30 m de mur
  - Compacté selon l'article 11.9.2.3.2 du CCDG (90 % masse volumique sèche maximale)
  - Zone adjacente à la paroi (1 500 mm) : compacteurs dynamiques, plaques vibrantes ou rouleaux vibrants (masse inférieure à 800 kg par mètre de rouleau)
- Pluie abondante (plus d'une journée) : arrêter travaux et protéger remblai déjà en place
- Après journée de travail et si pluie prévue durant la nuit : aménager pentes sur remblai
- Drainage
  - Drains à poser derrière la paroi comme indiqué aux plans d'atelier (à raccorder à l'égout ou à un fossé)
  - Drains à poser derrière le massif renforcé lorsqu'indiqué aux plans d'atelier, (à raccorder à l'égout ou à un fossé)
  - Si présence de venues d'eau : contacter le concepteur
- Remblai autre qu'un remblai renforcé : voir l'article 15.2.5.5 du CCDG

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Géotextile
  - À poser derrière la paroi des murs en accord avec l'avis technique du fournisseur
  - Certaines parois avec grillage (à installer avec soin)

Géométrie

- Vérifier l'implantation du mur
- Vérifier le niveau de la base, l'alignement et la verticalité (ou l'inclinaison) de la paroi. Les tolérances sont indiquées dans le CCDG ou dans l'avis technique
- Parois avec éléments préfabriqués : vérifier que ceux de la 1re rangée sont installés avec précision
- Ne pas accepter un mur hors tolérance sur simple avis de stabilité de la part du fournisseur

CHAPITRE 13

PONCEAUX PRÉFABRIQUÉS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **13-1**

NORMES **13-4**

13.1 DOCUMENTS REQUIS **13-5**

13.2 EXIGENCES DE CONCEPTION **13-6**

13.3 MATÉRIAUX **13-6**

13.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ **13-7**

13.5 MISE EN ŒUVRE **13-9**

13.5.1 Montage 13-15
13.5.2 Raccordement des éléments 13-16

FIGURE

Figure 13-1 Terminologie d'une structure de type ponceau 13-2

PHOTOGRAPHIES **13-19**

AIDE-MÉMOIRE **13-21**

INTRODUCTION

Le terme « ponceau » désigne une grande variété d'ouvrages sous remblai ayant une gamme très étendue d'ouvertures, soit de 450 mm de diamètre à 16 m de portée.

Ce chapitre couvre les ponceaux préfabriqués utilisés sous le réseau routier; il ne couvre donc pas les ponceaux situés sous une entrée privée ni les réseaux d'égout pluvial ou sanitaire.

Les ponceaux qui sont construits pour le Ministère sont des ponceaux communs ou des ponceaux homologués.

Dans le cas des ponceaux en béton armé coulé en place tels que les ponceaux rectangulaires avec goussets et les ponceaux voûtés, les plans et devis fournissent l'information nécessaire à leur construction. Ces ponceaux sont construits selon les modalités du chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel. Le présent chapitre est, quant à lui, réservé aux autres ponceaux.

Types de ponceaux

Une façon simple d'avoir une vue d'ensemble des différents types de ponceaux consiste à faire des regroupements sur la base de leurs formes géométriques.

Les tuyaux circulaires utilisés comme ponceaux constituent un premier groupe. Ces tuyaux sont en béton armé ou non armé, en tôle d'acier ondulée galvanisée ou aluminisée, ou bien en polyéthylène haute densité (PEHD).

Un deuxième regroupement comprend les conduits de forme arquée en tôle d'acier ondulée, galvanisée ou aluminisée.

Deux types de structures voûtées forment un troisième regroupement d'ouvrages. Ce sont, d'une part, les ponceaux constitués d'éléments en béton armé préfabriqué et, d'autre part, les ponceaux formés de plaques multiples en tôle forte d'acier avec de grandes ondulations et galvanisées. Ces ponceaux sont des produits homologués.

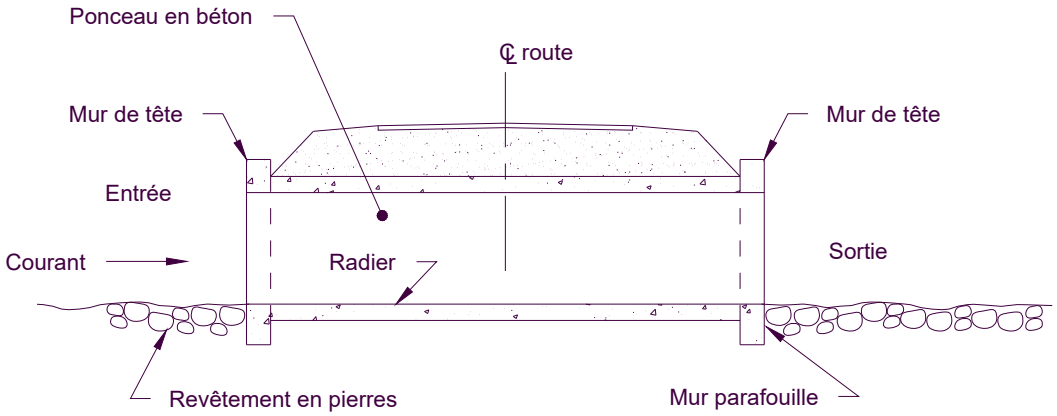
Un dernier groupe comprend les structures en forme de cadres rectangulaires, fermés ou ouverts, en béton armé préfabriqué. On retrouve dans ce groupe la série des ponceaux rectangulaires en béton armé prédimensionnés[1] du Ministère ainsi que des produits homologués.

Classes structurales

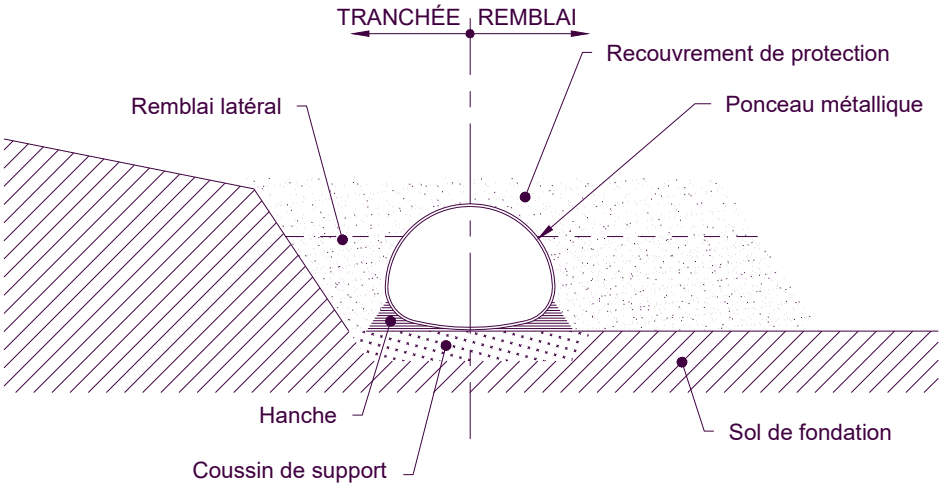
On peut également classer les ponceaux en deux catégories : les ponceaux rigides (en béton) et les ponceaux flexibles (en acier ou en PEHD). Ces derniers sont moins sensibles aux tassements différentiels en raison de leur tolérance à une certaine

[1] Les plans types des ponceaux rectangulaires en béton armé coulés en place ou préfabriqués sont disponibles au chapitre 7 du *Manuel de conception des ponceaux*

déformation, c'est pourquoi ils sont privilégiés lorsque le sol est de mauvaise qualité (sol organique, silt ou argile). Il peut même arriver que les plans et devis indiquent la valeur des tassements à prendre en compte lors de la mise en place de ce type de ponceau (cambrure). Les ponceaux en béton armé (sur radier ou sur semelles) sont, quant à eux, généralement utilisés lorsque le sol est de bonne qualité. Les ponceaux de forme rectangulaire ou arquée sont privilégiés lorsque le dégagement vertical entre le lit du cours d'eau et le profil de la route est limité.



COUPE LONGITUDINALE D'UN PONCEAU EN BÉTON



COUPE TRANSVERSALE D'UN PONCEAU MÉTALLIQUE

Figure 13-1 Terminologie d'une structure de type ponceau

Ponceaux homologués

Lorsqu'il s'agit de ponceaux homologués, les documents de soumission ne donnent pas tous les détails nécessaires à leur construction, puisque le type de ponceau à construire n'est pas encore déterminé au moment des soumissions. En effet, l'entrepreneur doit choisir le ponceau qui convient au projet parmi ceux indiqués dans le devis spécial. Il doit être en mesure de respecter les exigences de l'étude hydraulique, soit : une ouverture minimale au niveau des eaux hautes annuelles, une surface minimale d'écoulement sous le niveau des eaux centennales, une élévation minimale du soffite, etc.

Les ponceaux homologués sont commercialisés par différents fournisseurs qui détiennent des droits de propriété ou des licences de commercialisation. Il arrive que certains de ces ponceaux soient protégés par des brevets. Le surveillant n'a pas à se préoccuper de ces notions légales.

Bien que la construction d'un ponceau n'ait généralement pas l'envergure de celle des autres ouvrages d'art, son importance peut être à tort minimisée d'autant plus que, pour les ponceaux homologués, il est demandé dans l'avis technique qu'un représentant qualifié du fournisseur du ponceau soit présent afin d'appuyer techniquement les intervenants au chantier. Cette mesure exceptionnelle se reflète dans le contenu de ce chapitre où seules les grandes lignes directrices sont abordées pour les ponceaux homologués. Bien que ce représentant soit mandaté par l'entrepreneur, le surveillant doit établir une relation étroite avec lui afin d'être en mesure de bien saisir les contraintes techniques du ponceau à construire. Pour ce faire, une rencontre doit être organisée avant les travaux à laquelle assistent l'entrepreneur, le représentant du fournisseur du ponceau et le concepteur des plans de soumission afin de revoir l'ensemble des documents contractuels (devis spécial, CCDG, avis technique, plans et devis de construction fournis par l'entrepreneur) pour s'assurer que les exigences du Ministère et celles du fournisseur sont bien comprises par tous les intervenants. L'avis technique est disponible sur le site Internet du Ministère.

Mentionnons aussi que le fournisseur du ponceau a tout intérêt à ce que le déroulement des travaux se fasse adéquatement. En effet, s'il se présentait des problèmes concernant un type de ponceau en particulier sur un chantier, le Ministère pourrait en révoquer l'homologation.

De manière à être en mesure d'évaluer le ponceau utilisé, la Direction de la conception de la Direction générale des structures du Ministère demande au surveillant de lui fournir à la fin des travaux une évaluation de la qualité du produit et de sa mise en place. Cette évaluation doit être écrite (lettre, note ou courriel) et doit inclure les éléments suivants :

- mise en œuvre et méthode de travail;
- réunion avant la fabrication des éléments préfabriqués;
- présence du représentant du fournisseur du ponceau au début des travaux;

- disponibilité du fournisseur pour répondre aux questions de chantier liées à son produit;
- particularités observées ou difficultés vécues lors des travaux;
- géométrie, alignement des éléments et apparence du ponceau à la fin des travaux (y compris l'ouverture entre les éléments).

Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres points jugés pertinents pour apprécier l'ouvrage peuvent être ajoutés.

Soulignons finalement que le surveillant peut se procurer de l'information technique additionnelle concernant la mise en place de tuyaux (manuels ou sites Internet) auprès de l'Association québécoise des fabricants des tuyaux de béton (TUBECON), du *Corrugated Steel Pipe Institute* et du *Plastics Pipe Institute*.

NORMES

Afin d'alléger le texte, la description complète des normes citées dans le présent chapitre est faite ici. Ces normes sont :

– ASTM F894 :	Polyethylene (PE) large diameter profile wall sewer and drain pipe
– BNQ 1809-300 :	Travaux de construction – Clauses techniques générales – Conduites d'eau potable et d'égout
– CAN/CSA S6 :	Code canadien sur le calcul des ponts routiers
– CAN/CSA-A23.4 :	Béton préfabriqué : constituants et exécution des travaux/règles de qualification pour les éléments en béton architectural et en béton structural préfabriqué
– NQ 2560-114 :	Travaux de génie civil – Granulats
– NQ 2622-126 :	Tuyaux et branchements latéraux monolithiques en béton armé et non armé pour l'évacuation des eaux d'égout domestique et pluvial
– NQ 3624-120 :	Tuyaux et raccords en polyéthylène (PE) – Tuyaux à profil ouvert à paroi intérieure lisse pour l'égout pluvial et le drainage des sols – Caractéristiques et méthodes d'essais
– Norme 3101 du Ministère :	Bétons de masse volumique normale
– Norme 5101 du Ministère :	Armature pour les ouvrages en béton
– Norme 7101 du Ministère :	Tuyau en tôle ondulée ou nervurée et en tôle forte ondulée et courbée

Mentionnons que les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) et par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

13.1 DOCUMENTS REQUIS

Documents requis pour des ponceaux homologués

Devis de construction, plans d'atelier et note de calcul

Les renseignements sur les plans de soumission sont limités. Ils comprennent généralement la vue en plan pour la localisation du ponceau, une vue en élévation et des coupes types. Ces dernières montrent notamment l'ouverture minimale, le remblai au-dessus du ponceau, l'élévation des fondations et le tableau des élévations des niveaux d'eau. Les renseignements complémentaires nécessaires à la construction doivent être fournis par l'entrepreneur.

Le devis de construction ainsi que les plans d'atelier et la note de calcul doivent être remis au surveillant par l'entrepreneur. Les plans d'atelier doivent contenir, notamment la description des dispositifs de levage et, lorsque applicable, décrire le dispositif mécanique pour retenir entre eux les éléments des ponceaux en béton. Les plans doivent indiquer la résistance minimale du béton au démoulage. Bien que la conception des ponceaux doive être conforme à la norme CAN/CSA-S6, cette exigence du CCDG concerne peu le surveillant. Par contre, le surveillant doit s'assurer que ces documents sont signés et scellés par un ingénieur concepteur et signés par un ingénieur vérificateur, avant de les transmettre au concepteur des plans de soumission.

Le devis de construction doit préciser la méthode de travail et les équipements nécessaires à la mise en place des éléments de ponceau. Le surveillant doit s'assurer que ces méthodes de travail sont respectées par l'entrepreneur et signaler toute non-conformité au fournisseur du ponceau ou son représentant lorsque ce dernier est présent sur les lieux. L'entrepreneur doit respecter les exigences générales de l'article 6.6 « Plans fournis par l'entrepreneur » du CCDG pour la remise de ces documents, y compris le délai minimal de deux semaines que le Ministère s'accorde pour les étudier et le nombre de copies à fournir.

Les dispositifs de levage doivent être conformes aux exigences présentées à la section 4.3.1.3 « Accessoires des coffrages » du présent document. Le Ministère spécifie également trois mortiers avec latex (plus performants) pouvant être utilisés pour le recouvrement en chantier des dispositifs de levage.

Lorsque des barres d'armature sont fixées par soudure, les plans d'atelier doivent en faire mention et le certificat de qualification d'usine et des soudeurs selon la norme CSA W186 doit être joint aux plans d'atelier (CCDG 15.13.1) (réf. CSA W186 « Soudage des barres d'armature dans construction en béton armé »).

Le surveillant doit faire viser les plans d'atelier, la note de calcul et le devis de construction par le concepteur des plans de soumission, lequel doit les retourner au surveillant après y avoir apposé son visa. Le visa est un acte par lequel le concepteur reconnaît que le plan est conforme dans ses grandes lignes aux documents contractuels; l'entrepreneur conserve cependant l'entière responsabilité de la conception, de l'exactitude des détails, des dimensions et des quantités. La figure 7.1-1 du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » du présent manuel montre l'estampe type utilisée à titre de visa.

La fabrication des éléments préfabriqués des ponceaux homologués ne peut pas débuter avant que les plans d'atelier visés aient été retournés à l'entrepreneur et qu'une réunion préalable à la préfabrication soit faite (CCDG 15.4.3).

13.2 EXIGENCES DE CONCEPTION

Les exigences de conception indiquées dans le CCDG s'adressent au concepteur du plan de soumission ainsi qu'à l'entrepreneur pour la préparation des plans d'atelier des ponceaux homologués ainsi que de la note de calcul. Il n'incombe pas au surveillant de vérifier la conformité de ces documents en regard de ces exigences.

13.3 MATÉRIAUX

Les matériaux granulaires utilisés doivent être conformes à la norme NQ 2560-114. Mentionnons que le béton utilisé pour la fabrication des tuyaux en béton est indiqué à la norme NQ-2622-126.

Lorsque les fabricants des ponceaux préfabriqués en béton désirent avoir un affaissement du béton au-delà de ce qui est autorisé par les exigences du béton de type V-S, soit 160 mm au maximum, il est précisé au CCDG qu'il peut utiliser un béton de type V-P, XIV-C (autoplaçant de construction) ou XVII-P (semi-autoplaçant de préfabrication) en remplacement du béton de type V-S afin de diminuer l'apparition de nids d'abeille.

Mentionnons que le béton de type V-DC mentionné au CCDG peut être utilisé uniquement pour la fabrication d'éléments préfabriqués de ponceaux rectangulaires en béton armé. L'introduction de ce nouveau type de béton pour ces éléments découle du fait qu'un fabricant (Forterra) a démontré qu'il peut utiliser ce procédé avec succès; par contre, si un autre fabricant désire utiliser ce type de béton, le surveillant doit contacter la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère (via le gérant de projet du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) avant d'autoriser son utilisation. Ce type de béton ne doit pas être utilisé pour la fabrication d'autres éléments.

Les joints d'étanchéité et les lubrifiants doivent être fournis par le fabricant des tuyaux lorsque ces dispositifs sont exigés dans les documents contractuels; ceux-ci sont nécessaires lorsque cela est spécifié dans les plans et devis ou lorsque l'entrepreneur

choisit d'étancher les joints plutôt que d'utiliser un géotextile (dessin normalisé). Les manchons de raccordement des tuyaux métalliques doivent respecter les exigences de la norme 7101 du Ministère.

La membrane autocollante pour joints est traitée au chapitre 10 « Membrane d'étanchéité et membrane autocollante pour joints » de ce manuel.

Si des soudures d'assemblage de tuyaux sont nécessaires à l'intérieur d'un ponceau, ce qui peut survenir surtout lors des travaux d'insertion lorsque des changements d'angle sont requis, ces soudures doivent être conformes à la norme W59 « Construction soudées en acier (soudage à l'arc) ». Il faut donc exiger de la part des soudeurs des attestations de conformité et vérifier les conditions de réalisation de ces soudures (voir la section « ouvrages en acier »).

13.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite, notamment selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantiers d'infrastructures de transport.*

Béton et armature

Le surveillant doit se référer à l'article 15.4.2 « Assurance de la qualité » du CCDG pour plus d'information au sujet du béton et de l'armature.

Béton préfabriqué

L'usine chargée de la fabrication des éléments en béton préfabriqué des ponceaux doit être certifiée conformément à la norme CAN/CSA-A23.4. Cette exigence de l'article 15.4.2.1.2 « Certification du fabricant d'éléments en béton préfabriqués » du CCDG est importante, puisque la certification permet au Ministère d'avoir l'assurance que l'usine est en mesure de procéder à la fabrication selon les exigences de cette norme.

Une réunion préalable doit être tenue avant la fabrication des éléments en béton préfabriqué, comme cela est indiqué à l'article 15.4.3 du CCDG. Le surveillant doit se référer à la partie 4.3 « Mise en œuvre » du chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel pour plus d'information à ce sujet.

L'entrepreneur doit aviser le surveillant au moins quatre semaines avant la tenue de la réunion préalable à la fabrication du nom de son fournisseur et de l'usine à laquelle la fabrication aura lieu. Ces informations doivent être acheminées au responsable du contrôle de la qualité de la direction générale territoriale le plus tôt possible de façon à ce que ce dernier puisse organiser la surveillance en usine. Plus de détails sur ce point sont présentés à la section 4.3 du manuel, à la sous-section « Éléments en béton préfabriqués ».

Les exigences concernant la température maximale du béton durant la cure accélérée et celle d'entreposage sont décrites à l'article 15.4.3.5.10 « Cure des éléments en béton préfabriqués » du CCDG. Le surveillant doit rejeter un élément préfabriqué lorsque la température mesurée du béton durant la cure excède 70 °C (60+10), car au-delà de cette température, des problèmes importants liés à l'apparition de l'ettringite secondaire peuvent réduire considérablement la durée de vie de l'élément.

Précisons que les exigences concernant la température maximale durant la cure ne s'appliquent pas pour les tuyaux circulaires en béton.

Mentionnons finalement que la Direction générale des structures a produit un formulaire (F316.1, disponible sur le site Internet du Ministère) pour consigner les résultats des vérifications sur les éléments de béton préfabriqués en usine. Bien que ces vérifications ne soient pas effectuées directement par le surveillant, ce dernier doit s'assurer que celles-ci ont bel et bien été effectuées à l'usine.

Certification des tuyaux

Les tuyaux en béton, en tôle d'acier ondulée (y compris les manchons d'accouplement) ainsi que les tuyaux et raccords en polyéthylène haute densité (PEHD) doivent provenir d'un fabricant dont les produits sont certifiés par le BNQ. Le surveillant doit donc s'assurer d'obtenir une copie de ce certificat avant le début des travaux.

Avis technique

À chaque ponceau homologué correspond un « avis technique » particulier. Ce document contient des renseignements tels que l'identité du fournisseur, la description et les caractéristiques du produit ainsi que ses limites d'utilisation. L'avis technique comprend aussi des exigences complémentaires à celles des autres documents du contrat. L'avis technique est un document contractuel.

Attestation de conformité des matériaux granulaires

Le surveillant doit se référer au chapitre 2 « Fondations » de ce manuel pour plus d'information à ce sujet.

Mentionnons tout de même que lorsque le surveillant observe des changements notables dans l'apparence du matériau, sur le plan de la couleur ou de la granulométrie, par exemple, ou dans le comportement du remblai au cours de la progression des travaux, une nouvelle attestation de conformité doit être exigée. Lorsqu'un ponceau voûté en tôle ondulée galvanisée est utilisé, l'entrepreneur doit inclure à celle-ci les résultats de la concentration en chlorures. Cette dernière doit être inférieure à la valeur limite spécifiée par le fournisseur dans son avis technique, afin de réduire la corrosion.

Attestation de conformité et contrôle de réception des tuyaux

Le surveillant doit s'assurer d'obtenir une attestation de conformité pour les tuyaux utilisés, sauf ceux pour lesquels il est exigé que le fabricant soit certifié par le BNQ.

Un contrôle de réception doit être effectué sur les tuyaux utilisés, sauf ceux pour lesquels il est exigé que le fabricant soit certifié par le BNQ; dans ce dernier cas, le surveillant peut faire un contrôle de réception s'il a des doutes quant à la qualité des produits livrés au chantier.

Attestation de conformité des ponceaux en béton préfabriqué

Le surveillant doit s'assurer d'obtenir une attestation de conformité des sections de ponceau en béton préfabriqué (tuyaux exclus) qui sont livrées au chantier. Les éléments doivent être fabriqués avec le même type de béton (CCDG 15.13.4.6). Cette attestation est remise à la livraison des éléments au minimum sept jours avant leur utilisation.

13.5 MISE EN ŒUVRE

Le surveillant doit s'assurer que les éléments en béton préfabriqués ne soient pas transportés de l'usine vers le chantier avant la fin de la période de cure. Rappelons que la durée de la cure est établie selon l'atteinte d'un des trois critères de 140 °C-jours, 7 jours + 70 % de résistance ou l'atteinte de la résistance à 28 jours (f'c). Pour la majorité des éléments, les fabricants utilisent le critère de la résistance à 28 jours du béton, ce qui signifie que cette résistance doit être atteinte avant l'expédition au chantier; tout élément transporté avant la fin de la période de cure doit être refusé.

Dans le cas d'un ponceau homologué, le nom du représentant qualifié du fournisseur du ponceau doit être fourni au surveillant au moins sept jours avant le début de l'installation afin que ce dernier puisse prendre contact directement avec lui. Le représentant doit être présent lors de la réunion de chantier précédant l'installation du ponceau homologué et doit discuter de la procédure de mise en place, donc du devis d'installation du ponceau. Il est important que le surveillant et l'entrepreneur prennent connaissance de ce document avant l'installation puisqu'il contient des exigences de mise en œuvre propres au ponceau à installer.

La présence du représentant est ensuite exigée au début de l'installation du ponceau sur le coussin (fond de l'excavation). Sa présence est nécessaire afin qu'il puisse constater la conformité du coussin avant l'installation des éléments et également afin de guider l'entrepreneur pour la manipulation et l'installation des éléments de façon à respecter, entre autres, l'espacement maximal prévu entre ceux-ci (voir devis spécial).

Par la suite, au besoin, la présence du représentant peut être exigée par le surveillant lors des opérations subséquentes d'installation.

Dans un délai de sept jours suivant la fin des travaux de mise en œuvre d'un ponceau homologué, le devis spécial exige que l'entrepreneur remette au surveillant le formulaire « attestation de conformité d'installation d'ouvrage homologué ». Ce dernier doit être signé conjointement par l'entrepreneur et l'ingénieur du fournisseur. Rappelons que le devis de construction est celui qui est produit par le fournisseur et qu'il fait partie des

documents à remettre avant les travaux. Il est essentiel que le représentant qualifié du fournisseur soit présent de façon suffisante au chantier afin d'assister l'entrepreneur et de permettre d'attester de l'installation conforme au devis de construction à la fin des travaux. L'ingénieur du fournisseur qui signe l'avis peut déléguer un représentant au chantier pour l'assister, mais ce dernier doit travailler sous l'autorité et la supervision directe du signataire de l'avis. L'avis de conformité ne décharge pas le surveillant de ses responsabilités de vérification des exigences du devis spécial et du CCDG. Mentionnons en terminant que le surveillant doit transmettre à l'entrepreneur, s'il le demande, les résultats du contrôle de qualité des matériaux au chantier afin de permettre au fournisseur d'émettre son avis.

Réception

Dès la réception des tuyaux ou des éléments de ponceaux au chantier, le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur les entrepose dans un endroit en retrait de façon à ce qu'ils ne soient pas endommagés lors des opérations de chantier. Il doit aussi veiller à ce qu'ils soient déposés à plat sur des supports suffisamment rapprochés, afin d'éviter leur gauchissement. Des précautions particulières doivent aussi être prises pour entreposer adéquatement les joints d'étanchéité afin d'éviter de les endommager. Le surveillant ne doit pas hésiter à intervenir auprès de l'entrepreneur si les conditions de déchargement et d'entreposage ne sont pas satisfaisantes.

Le surveillant doit aussi s'assurer dès la livraison des tuyaux ou des éléments de ponceaux que ceux-ci sont conformes aux plans d'atelier visés.

Toute anomalie doit être immédiatement signalée à l'entrepreneur afin que les corrections soient apportées rapidement de façon à ne pas retarder indûment les travaux.

Le surveillant doit par la suite faire des inspections visuelles périodiques et continues des tuyaux ou des éléments de ponceaux, depuis leur livraison au chantier jusqu'à leur installation. Il ne doit pas hésiter à rejeter toute pièce qui lui semble endommagée.

Le rejet d'un tuyau ou d'un élément de ponceau en béton doit être fait lorsque :

- la classe du tuyau n'est pas celle requise;
- des fractures ou fissures de la paroi sont présentes;
- des défauts, résultant d'imperfections dans le mélange, le malaxage ou le moulage, sont présents;
- des nids de cailloux ou une texture ouverte sont décelés;
- des dommages ou des fissures aux extrémités des tuyaux sont présents rendant impossible la réalisation de joints satisfaisants;
- l'enrobage de béton des armatures n'est pas conforme aux exigences des avis techniques; celui-ci est mesuré par le surveillant au moyen d'un pachomètre;

- la longueur des éléments de ponceaux est inférieure à 1 m. Pour un ponceau en biais, la longueur du plus petit côté de l'élément d'extrémité doit avoir au moins 600 mm, sinon ces éléments doivent être bétonnés sur place. Ces exigences du CCDG s'imposent afin de réduire le plus possible le nombre de joints;
- la longueur des éléments d'extrémité des tuyaux en béton est inférieure à 1 m; cette exigence est pour éviter un démantèlement de ces éléments en cas de mouvement des talus à l'extrémité du ponceau;
- la profondeur des cavités dans les parois de l'ouvrage nécessaires pour manipuler les éléments n'est pas inférieure à l'épaisseur de ces parois;
- une zone réparée en usine produit un son creux lorsque frappée par un marteau d'inspecteur.

Le rejet d'un tuyau métallique doit être fait lorsque :

- l'épaisseur de la paroi n'est pas conforme aux exigences des plans et devis;
- des dommages non réparables (voir sous-section 15.14 « Galvanisation, métallisation et peinturage » du CCDG) sont constatés au revêtement anticorrosion;
- des déformations (écrasement) sont constatées sur la paroi du tuyau;
- des déformations (gauchissement), des bosses ou des courbures sont décelées sur la longueur du tuyau.

En plus du tuyau, le surveillant doit vérifier les manchons livrés au chantier. Ceux-ci peuvent être du type collier ondulé ou du type collier partiellement ondulé. Leur largeur est fixée dans la norme 7101 du Ministère. Les matériaux des manchons sont les mêmes que ceux employés pour la fabrication des ponceaux, de même que leur épaisseur et leur revêtement.

Le rejet d'un tuyau en polyéthylène haute densité (PEHD) doit être fait lorsque des déformations (écrasement) ou des défauts tels que des coupures, des perforations, des délaminations ou des bombements sont constatés sur la paroi du tuyau.

Manutention

Le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur prend toutes les précautions nécessaires pour éviter que du sable, de la terre, des saletés ou des objets pénètrent dans les tuyaux durant leur entreposage et leur installation. Cette précaution est importante pour éviter d'endommager le revêtement des tuyaux métalliques ou de salir inutilement leurs extrémités afin, dans ce dernier cas, de ne pas nuire à leur assemblage.

Dans le cas des tuyaux métalliques, les entretoises, que le fabricant a cru bon d'installer à l'intérieur de certains tuyaux pour leur transport, devraient être enlevées selon les indications du chapitre 2 « Fondations » de ce manuel. Cette précaution vise à réduire les risques de déformation du tuyau lors du remblayage.

Bien que l'entrepreneur doive prendre toutes les précautions nécessaires afin d'éviter tout dommage aux matériaux livrés au chantier, il doit être encore plus attentif par temps froid, puisque certains matériaux deviennent alors plus fragiles, notamment les tuyaux en PEHD. L'entrepreneur doit utiliser une méthode de travail qui préserve l'intégrité des tuyaux ou des éléments de ponceaux à toutes les étapes d'installation (mise en place, assemblage, remblayage). De plus, il doit s'assurer qu'aucune pièce d'équipement ne fait contact direct avec les tuyaux ou les éléments de ponceaux. Dans le cas des tuyaux métalliques, l'entrepreneur doit les transporter en les soulevant, c'est-à-dire sans les glisser, ni les rouler, jusqu'à l'endroit où ils seront mis en place, et ce, afin de ne pas abîmer le revêtement.

Lorsque le revêtement anticorrosion des tuyaux métalliques est endommagé, il doit être réparé selon les modalités du chapitre 14 « Galvanisation, métallisation et peinturage » du présent manuel.

Découpage et ouvertures

Tout découpage d'un élément doit être fait au moyen d'une scie. Tout forage dans la paroi d'un ponceau doit être réalisé au moyen d'un foret muni d'un emporte-pièce pour les raccordements de 350 mm ou moins et à l'aide d'une scie abrasive pour les raccordements de plus grand diamètre.

Excavations et préparation de la fondation

Fondation naturelle

Les travaux relatifs aux excavations doivent être réalisés selon les exigences de la partie 2.5.3 « Excavations » du chapitre 2 « Fondations » de ce manuel. Mentionnons que, dans le cas des tuyaux, l'article 15.2.5.3.1 « Dimensions des excavations » du CCDG stipule que la largeur de l'excavation doit excéder de 600 mm de chaque côté par rapport au diamètre extérieur du tuyau.

L'exigence du CCDG visant à éviter le remaniement du fond des excavations est particulièrement importante pour les tuyaux et les ponceaux, puisqu'elle est liée directement à la stabilité de l'ouvrage et à son comportement à long terme.

Le surveillant doit prêter une attention particulière à la qualité des sols en place. S'il a des doutes concernant la capacité portante du sol du fond des excavations, il doit consulter le concepteur.

Lorsque le fond de l'excavation est un matériau granulaire, le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur effectue la densification du sol en place, que des essais de contrôle de la compaction sont réalisés et que les résultats démontrent la conformité aux exigences du CCDG (soit 90 % de la masse volumique sèche maximale).

Comme il est indiqué à la partie 2.5.3.2 « Fond des excavations » du chapitre 2 « Fondations » de ce manuel, il faut que le fond des excavations soit parallèle à la base de l'ouvrage, afin que le coussin de support ait une épaisseur

identique sur toute la longueur de l'ouvrage, et que la capacité portante soit ainsi uniforme. Bien que cette dernière exigence soit importante pour tout type de ponceau, elle l'est particulièrement pour les ponceaux circulaires flexibles, puisqu'une pierre (surface dure) ou une poche de sol mou (surface molle) peuvent éventuellement déformer ce type d'ouvrage; ces surfaces dures et molles doivent être éliminées. Pour les mêmes raisons, on ne doit pas déposer les tuyaux sur des supports en bois ou en béton ou sur des briques ou des pierres lors de leur mise en place, car ces derniers constituent une surface dure.

Coussin de support

Contrairement aux autres types d'ouvrages, un coussin de support est toujours indiqué dans les plans et devis afin que le ponceau repose sur une surface ayant une capacité uniforme au moins égale à celle du sol sur lequel il est déposé. De plus, dans le cas d'un fond d'excavation rocheux, un coussin de support en matériaux granulaires permet d'éviter la présence d'une surface dure en contact avec les tuyaux. Cependant, le coussin de support n'est pas nécessaire si le fond d'excavation est composé de matériaux granulaires compactables selon les exigences.

Le coussin de support doit être réalisé au moyen de matériaux granulaires de type MG-20, sauf dans le cas des ponceaux rectangulaires en béton et des ponceaux voûtés sur radier en béton lorsque le fond des excavations est rocheux; dans ces cas, le coussin est effectué en béton pour égaliser l'assise. Mentionnons que la pratique d'utiliser une pierre nette de 20 mm n'est pas recommandée parce qu'il est impossible de la compacter suffisamment, ce qui entraînerait des tassements différentiels au niveau de l'uni du revêtement de la route. Il faut plutôt contrôler les venues d'eau sur le fond d'excavation afin que le coussin puisse être compacté adéquatement.

Dans le cas des tuyaux, les matériaux granulaires doivent être mis en place comme suit :

- par couches d'épaisseur d'au plus 150 mm;
- sans masses gelées afin d'éviter la création d'une surface molle au dégel;
- compactés à 95 % de la masse volumique sèche maximale. Il est important de mentionner que la dernière couche de 150 mm sous le tiers central des ponceaux circulaires demeure remaniée afin de leur permettre de se faire un lit dans le coussin de support. Dans le cas des ponceaux métalliques arqués, il faut aussi que la partie remaniée ou non compactée du coussin de support soit préformée pour suivre le contour du dessous du ponceau;
- selon une épaisseur totale qui varie selon le diamètre du ponceau (voir les plans et devis);
- selon le profil du diamètre extérieur, même aux extrémités du tuyau (bout femelle);
- selon une tolérance de $\pm$ 10 mm par rapport à une ligne droite reliant les extrémités de chaque longueur de tuyau. Bien que cette exigence ne soit pas contractuelle, elle n'en constitue pas moins une règle de bonne pratique qui devrait être respectée.

Dans le cas d'un coussin de support en béton, le surveillant doit se référer au chapitre 4 « Ouvrages en béton » du présent manuel relativement au béton et aux travaux de bétonnage. Le béton spécifié pour ce type de coussin est celui de type V.

Le surveillant est invité à consulter la partie 2.5.4 « Coussin » du chapitre 2 « Fondations » de ce manuel pour plus d'information.

Fermeture des joints

Pour les tuyaux en béton, l'espacement à l'emboîtement ne doit pas être supérieur à 12 mm pour les tuyaux ayant un diamètre nominal de 1 200 mm et moins, et à 20 mm pour les diamètres supérieurs. Pour les tuyaux en tôle ondulée, l'espacement à l'emboîtement entre les deux tuyaux sous le manchon ne doit pas être supérieur à 12 mm. Pour les tuyaux en polyéthylène, aucune ouverture entre les joints n'est permise.

Aménagements des extrémités

La protection des extrémités est essentielle pour assurer la pérennité de l'ouvrage. Elle permet d'éviter des détériorations pouvant résulter de la présence même du ponceau dans le cours d'eau, tels les défauts d'affouillement, d'érosion, de soulèvement et de déformations.

Les extrémités des ponceaux peuvent prendre plusieurs formes : projetées ou biseautées, et être munies ou non de murs de tête, de murs en aile. Un mur parafouille est requis à chacune des extrémités du ponceau. Ces dispositifs ont notamment pour rôle d'améliorer le rendement hydraulique du ponceau, d'augmenter sa résistance structurale, d'éliminer les problèmes d'instabilité et d'améliorer l'esthétique de l'ouvrage.

Dans le cas de tuyaux en acier aluminisé, il est important que les exigences concernant la pose d'une membrane autocollante sur les tôles devant venir en contact avec du béton coulé en place soient respectées afin d'éviter le contact direct entre le béton et l'aluminium qui pourrait accélérer la détérioration de l'aluminium.

Mur parafouille

Le mur parafouille joue un rôle essentiel dans la protection de l'ouvrage. Il est construit sous les extrémités du ponceau afin de le protéger contre l'affouillement et le soulèvement; il sert aussi à protéger le coussin de support contre l'infiltration et la perte de matériaux fins. Mentionnons que lorsqu'il y a une extrémité biseautée en béton préfabriquée qui est utilisée, le mur parafouille est installé à l'extrémité de la dernière section de ponceau.

Le mur parafouille peut être réalisé en bois traité, en béton ou en acier selon les indications des plans et devis. Il est recommandé d'ancrer l'extrémité des ponceaux en tôle ondulée ou en polyéthylène au mur parafouille afin d'éviter le soulèvement de l'extrémité.

Extrémité et revêtement

L'extrémité projetée est celle la plus couramment utilisée, probablement à cause de son coût peu élevé. Elle doit être employée lorsque cela est indiqué dans les plans et devis. L'extrémité biseautée, quant à elle, est généralement utilisée pour les tuyaux métalliques de grand diamètre. Mentionnons qu'il est recommandé que le tuyau ne soit pas biseauté du radier jusqu'au sommet afin de ne pas trop l'affaiblir, ce qui le rendrait vulnérable aux pressions latérales du sol et aux sous-pressions hydrauliques. Le surveillant doit se reporter au chapitre 4 « Ponceaux » du *Tome III – Ouvrages d'art* des normes du Ministère pour plus d'information à ce sujet. La pente du biseau est normalement identique à celle du talus de la route.

Dans le cas d'un tuyau positionné en biais par rapport à la route, il est important de s'assurer que les extrémités du ponceau sont perpendiculaires au ponceau et non pas parallèles à la route afin de ne pas les affaiblir à moins que les extrémités soient intégrées dans un mur de tête.

Le revêtement consiste à protéger le remblai autour de l'extrémité du tuyau contre les effets du cours d'eau. Lorsqu'un géotextile est prévu dans les plans, il faut s'assurer que l'entrepreneur le met effectivement en place avant de déposer les pierres.

Mur d'extrémité

Les murs les plus employés sont les murs de tête et les murs en aile; ils sont généralement réalisés en béton coulé en place ou préfabriqué.

Protection du lit du cours d'eau

Le calibre des pierres prévu dans les plans et devis ne doit pas être modifié, puisqu'il a été établi en fonction de la vitesse de l'écoulement de l'eau. Lorsqu'un géotextile est prévu dans les plans, il faut s'assurer que l'entrepreneur le met effectivement en place avant de déposer les pierres. Le surveillant peut se référer au chapitre 2 « Fondations » du présent manuel.

13.5.1 Montage

L'assemblage des structures de type ponceau en tôle forte en acier ondulée comporte plusieurs étapes critiques. Bien que cela soit exigé pour tous les ponceaux homologués, il est particulièrement important pour un ponceau voûté en tôle forte en acier ondulée que le surveillant s'assure que le représentant du fournisseur du ponceau est présent lors de l'assemblage et du remblayage. L'entrepreneur doit suivre rigoureusement les méthodes prescrites par le fournisseur et le plan de montage présenté. Le surveillant doit s'assurer que la forme géométrique de la structure assemblée est conforme aux plans d'atelier avant d'autoriser la mise en place du remblai.

Pour un ponceau voûté en tôle forte ondulée en acier ou un tuyau circulaire de grand diamètre en tôle forte ondulée en acier, le couple de serrage mentionné au CCDG peut

être difficile à évaluer correctement, même avec l'utilisation d'une clé dynamométrique. En ce qui concerne le surveillant, le couple de serrage est considéré conforme s'il n'est pas possible de desserrer les boulons avec la force d'un homme manipulant d'un seul bras une clé de longueur normale à mâchoire ou à fourche. Le surveillant doit vérifier la qualité du serrage de temps à autre, surtout au début de cette opération pour être certain que l'entrepreneur utilise des méthodes appropriées.

Mentionnons que cette façon de faire est suffisante pour ce type d'ouvrage, même si elle diffère de celle indiquée au chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » du présent manuel.

Le surveillant peut, en cas de besoin, consulter le fournisseur ou la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère (par l'intermédiaire du gérant de projet du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services).

13.5.2 Raccordement des éléments

L'assemblage des éléments des tuyaux et des ponceaux préfabriqués en béton avec ou sans emboîtures doit être fait avec précision de manière à assurer la fermeture des joints entre les éléments sur l'ensemble de l'ouvrage. Le surveillant doit notamment veiller à ce que l'entrepreneur utilise des méthodes de mise en place qui ne favorisent pas l'intrusion de matériaux granulaires entre les éléments, notamment pour ceux qui sont déposés sur des fondations en matériaux granulaires.

L'entrepreneur doit normalement fixer des points de repère (une corde installée par arpentage ou au laser) afin d'assembler et de poser les éléments du ponceau suivant les alignements et les élévations prévus. Ces points de repère doivent rester en place jusqu'à la vérification des travaux.

L'entrepreneur doit suivre les recommandations du fabricant en ce qui concerne la méthode d'assemblage. Dans le cas du ponceau rectangulaire en béton, un dispositif mécanique doit être installé sur chacun de ses murs pour s'assurer de fermer complètement les joints et de retenir les éléments entre eux. Ce dispositif est détaillé dans les plans d'atelier.

Une fois l'assemblage de toutes les sections du ponceau terminé, il faudrait s'assurer que l'alignement et la pente du ponceau fassent en sorte que la pente ne soit jamais nulle ou inversée sur aucune des sections du ponceau. Le respect du profil est nécessaire pour garantir l'écoulement adéquat des eaux et le comportement attendu des joints d'assemblage. Si les tolérances ne sont pas respectées, le surveillant doit consulter le concepteur pour qu'il analyse la situation.

<u>Ponceau circulaire (tuyau)</u>

Dans le cas des ponceaux métalliques, il faut s'assurer que l'alignement vertical et horizontal des sections de tuyau, les unes par rapport aux autres, est adéquat afin que les ondulations du manchon de raccordement s'emboîtent bien dans celles du tuyau.

Les sections de ponceaux doivent être assemblées en commençant par l'extrémité en aval de l'ouvrage. Cette exigence du CCDG s'impose afin d'assurer une meilleure stabilité de l'ouvrage au droit des joints. De plus, il faut positionner l'extrémité femelle de chaque section de ponceau vers l'amont afin de favoriser un meilleur rendement hydraulique et aussi, afin de réduire les exfiltrations d'eau au droit des joints.

Une règle de bonne pratique consiste à utiliser une barre de fer avec des pièces de bois pour l'assemblage des tuyaux afin d'éviter de les endommager; il peut arriver que l'entrepreneur se serve d'un tendeur ou d'un treuil pour les ouvrages de diamètre important. Mentionnons que dans le cas des tuyaux en béton, il faut éviter d'utiliser le godet d'une excavatrice pour ne pas les endommager. Si ce n'est pas possible de faire autrement, il faut à tout le moins éviter un contact direct du godet sur le tuyau en insérant, par exemple, une pièce de bois entre le godet et le tuyau.

Dans le cas des ponceaux métalliques ou en polyéthylène haute densité (PEHD), il faut aussi s'assurer qu'aucune saleté ne se trouve entre le manchon de raccordement et la paroi du tuyau afin de ne pas poinçonner le tuyau; de plus, ce dernier doit être centré au droit du joint. Les boulons des manchons doivent être serrés progressivement de façon à assurer un contact continu et uniforme entre le manchon et le tuyau.

Dans le cas des tuyaux en polyéthylène à joints vissés, il faut s'assurer que les parois devant être assemblées soient propres et lubrifiées avant le vissage.

Lorsque les joints doivent être étanchés, soit parce que cela est exigé dans les plans et devis ou parce que l'entrepreneur décide de son propre chef de les étancher, ce dernier doit mettre en place les joints d'étanchéité selon les recommandations du fabricant. Mentionnons qu'il n'est pas permis de mettre du lubrifiant pour faciliter la pose d'un joint d'étanchéité d'un tuyau en polyéthylène haute densité (PEHD) afin qu'il demeure en place.

Dans les cas où l'étanchéité des joints n'est pas exigée, l'entrepreneur peut opter pour l'utilisation de bandes de géotextile (1 m de largeur par une longueur correspondante à 1,3 fois le périmètre du ponceau) afin d'empêcher l'infiltration des matériaux granulaires situés au pourtour du tuyau. Cette exigence s'impose afin d'éviter d'avoir des infiltrations de matériaux fins du remblai à travers les parois du ponceau, pouvant entraîner la formation de vides dans le remblai et provoquer un affaissement de la route et, par conséquent, un soulèvement ou un écrasement des structures flexibles. Comme il est mentionné au CCDG, la bande géotextile est mise en place avant de déposer le ponceau en place afin que la bande puisse faire le tour du ponceau.

<u>Autre ponceau en béton armé</u>

Pour les ponceaux en béton à l'exception des tuyaux, le devis exige de l'entrepreneur une mesure correctrice lorsque l'espace entre les éléments dépasse ce qui est permis par le fournisseur de la membrane. L'entrepreneur doit dans cette situation communiquer avec le fournisseur de la membrane pour déterminer les mesures à prendre.

L'annexe T2 « Tolérance d'installation des ponceaux préfabriqués » du devis spécial présente les valeurs autorisées pour ces types de ponceaux.

Comme indiqué dans l'avis technique de certains ponceaux homologués, les joints entre les éléments de la voûte et ceux des semelles (ou du radier) doivent être décalés.

Membrane d'étanchéité

Dans le cas des ponceaux en béton, le dessus des ponceaux doit être recouvert d'une membrane d'étanchéité soudable lorsque cela est requis dans les plans et devis, ou les plans d'atelier (remblai inférieur à 1 m). Tous les joints non recouverts de cette membrane doivent être recouverts de deux bandes de membrane autocollante (une première bande de 300 mm suivie d'une deuxième bande de 500 mm). Les membranes sont généralement posées après un délai minimal de 24 heures sans pluie et après que les poussières et les débris auront été enlevés au moyen d'un jet d'air. Dans le cas de la membrane autocollante, l'entrepreneur doit nettoyer la surface à recouvrir au jet de sable et chauffer les surfaces à recouvrir au moyen d'un chalumeau au propane immédiatement avant sa pose. Ces exigences du CCDG (voir le chapitre 10 « Membrane d'étanchéité et membrane autocollante pour joints » de ce manuel ou le devis spécial) s'imposent afin d'optimiser l'adhérence de la membrane au béton.

Dans certains cas où la membrane et l'enrobé sont posés directement sur le dessus d'un ponceau coulé en place (pas de remblai), le devis spécial peut exiger des mesures plus importantes en vue de la pose de la membrane. Ces exigences touchent à la mise en œuvre du béton du dessus du ponceau comme l'utilisation de la règle vibrante, la cure à l'eau, une texture de surface lisse et un délai de quelques jours pour le séchage. Ces exigences s'apparentent en fait aux exigences pour le dessus des dalles de ponts, car le dessus du ponceau est alors exposé aux chlorures de manière similaire. Le surveillant peut consulter le chapitre consacré à la membrane d'étanchéité de ce manuel pour obtenir plus de détails concernant la pose.

Précisons que le nettoyage spécifié pour la pose de la membrane d'étanchéité doit être fait au jet de sable afin d'éviter d'utiliser un jet d'eau, ce qui amènerait de l'humidité sur la surface à recouvrir.

PHOTOGRAPHIES

PONCEAUX PRÉFABRIQUÉS



Installation d'un tuyau en béton armé (TBA)



Compactage au début de la construction d'un tuyau en tôle ondulée



Mise en place de la partie supérieure d'un ponceau voûté en béton armé



Tuyau voûté en tôle ondulée galvanisée sur semelle en béton



Ponceau rectangulaire en béton armé



Insertion d'un tuyau en polyéthylène à haute densité à l'intérieur d'un tuyau en tôle ondulée

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 13 – PONCEAUX PRÉFABRIQUÉS

NOTES

Ce chapitre ne s'applique pas aux ponceaux rectangulaires ou voûtés en béton armé coulé en place; se référer plutôt au chapitre 4 de ce manuel. Se référer aussi au chapitre 4 pour la fabrication d'éléments en béton préfabriqué des ponceaux.

Dans le cas d'un ponceau homologué, une rencontre entre les intervenants (surveillant, entrepreneur, représentant du fournisseur du ponceau et le concepteur des plans de soumission) est à prévoir pour revoir l'ensemble des documents contractuels (devis spécial, CCDG, avis technique, plans et devis de construction fournis par l'entrepreneur).

Dans le cas de tuyaux, le surveillant peut se procurer de l'information technique additionnelle auprès des fournisseurs ou de leur association (béton : TUBECON, acier : *Corrugated Steel Pipe Institute*, polyéthylène haute densité : *Plastics Pipe Institute*).

Pour un ponceau homologué, le surveillant doit faire parvenir, après les travaux, une évaluation de la qualité et de la mise en place du ponceau à la Direction générale des structures du Ministère.

DOCUMENTS REQUIS

Devis de construction, plans d'atelier et note de calcul

- Signés, ou signés et scellés par un ingénieur concepteur et un ingénieur vérificateur selon les spécifications du CCDG
- Visés par le concepteur des plans de soumission
- Plans d'atelier doivent inclure la description des dispositifs de levage
- Plans d'atelier doivent mentionner si soudure des armatures et s'il y a lieu, fournir la certification CSA W186 avec les plans

EXIGENCES DE CONCEPTION

- Voir CCDG (à l'intention du concepteur)
- Ponceaux homologués : l'avis technique est disponible sur le site Internet du Ministère.

MATÉRIAUX

Les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ) et par l'Association canadienne de normalisation (CSA).

Béton

- Béton
  - Norme 3101 du Ministère
  - Éléments préfabriqués : type V-S, V-P V-DC (ponceaux rectangulaires seulement), XIV-C ou XVII-P

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

Tuyaux en béton

- Norme NQ 2622-126

Tuyaux en tôle ondulée, nervurée ou en tôle forte ondulée et courbée

- Norme 7101 du Ministère

Tuyaux en polyéthylène haute densité

- Norme NQ 3624-120
- Norme ASTM F894 (pour les plus gros diamètres)

Géotextiles

- Norme 13101 du Ministère : type III , IV ou V selon l'usage (ponceaux homologués : type indiqué à l'avis technique)

Membrane d'étanchéité

- Norme 3701 du Ministère

Membrane autocollante pour joints

- Membrane autocollante pour joints
  - Voir devis spécial et chapitre 10 « Membrane d'étanchéité et membrane autocollante pour joints » de ce manuel

Granulats

- Norme NQ 2560-114

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport.*

Certification des tuyaux

- Tuyaux (béton, tôle en acier ondulée y compris manchon d'accouplement, PE) : tuyaux certifiés par le BNQ (certificat à obtenir)

Béton préfabriqué (excepté tuyaux en béton)

- Éléments préfabriqués en béton doivent provenir d'une usine certifiée selon CAN/CSA-A23.4
- Nom du fournisseur et de l'usine de fabrication transmis au surveillant au moins 4 semaines avant la tenue de la réunion préalable
- Réunion préalable à la fabrication (surveillant, entrepreneur, représentant du fournisseur du ponceau et le concepteur des plans de soumission : voir article 15.4.3 du CCDG)
- Cure des éléments préfabriqués en béton : voir l'article 15.4.3.5.10 du CCDG

Géotextiles : voir section 12.6 du CCDG

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

Attestation de conformité et contrôle de réception

- Pour :
  - Tuyaux en tôle ondulée (si pas certifiés BNQ), nervurée ou en tôle forte ondulée et courbée
  - Tuyaux en polyéthylène haute densité
  - Matériaux granulaires
    → Pour chaque source de matériaux
  - Ponceaux en béton préfabriqué
- À obtenir avant le début des travaux (ou lorsque changements notables dans l'apparence du matériau).
- Lorsque des barres d'armature sont fixées par soudure, les plans d'atelier doivent en faire mention et le certificat de qualification d'usine et des soudeurs selon la norme CSA W186 doit être joint aux plans d'atelier (CCDG 15.13.1)
- Attestation de conformité d'installation d'ouvrage homologué

MISE EN ŒUVRE

- Ne pas transporter les éléments préfabriqués en béton avant que la cure soit complétée ou après 7 jours de cure et l'atteinte de 70 % f'c

Présence du représentant du fournisseur d'un ponceau homologué

- Doit être présent lors de la réunion de chantier précédent l'installation du ponceau et sur le chantier lors du début de la mise en place du ponceau (ponceau voûté en tôle : voir avis technique). Au besoin par la suite.

Réception des tuyaux et éléments préfabriqués de ponceaux

- Vérifier conformité aux plans d'atelier (voir texte de ce chapitre pour certaines causes de rejet)

Manutention

- Éviter que du sable, terre, saleté ou autre ne pénètrent dans les tuyaux
- Tuyaux métalliques
  - Élingues non métalliques (soulever les tuyaux, ne pas les rouler ou les glisser)
  - Galvanisation : voir article 15.14.2 du CCDG pour surfaces endommagées
- Découpage : foret muni d'un emporte-pièce ou scie abrasive (grand diamètre)

Excavation et préparation de la fondation

- Fondation naturelle
  - Voir chapitre 2 de ce manuel
  - Excavation pour tuyaux : au moins 600 mm de chaque côté du diamètre extérieur du tuyau
  - Fond d'excavation avec matériau granulaire : compacté à 90 % de la masse volumique sèche maximum (éviter surfaces dure ou molle surtout pour tuyaux métalliques et en PE)
- Coussin de support
  - Voir chapitre 2 de ce manuel
  - Toujours requis pour tuyaux (sauf si le fond d'excavation est en matériau granulaire)

- Ponceaux rectangulaires en béton ou radiers en béton : coussin en béton de type V si présence de roc
- Éviter masses gelées
- Compacter à 95 % de la masse volumique sèche maximum (sauf zone de 150 mm sous le tiers central des ponceaux circulaires et dessous des ponceaux arqués)

– Aménagement des extrémités
  - Extrémités des tuyaux
    → Voir plans
    → Projetée ou biseautée
      - Projetée (si tuyau en biais par rapport à la route : extrémités du tuyau perpendiculaires au tuyau)
      - Biseautée : il est recommandé de biseauter que la partie centrale du tuyau (c'est-à-dire entre 25 % et 75 % de la hauteur du tuyau) selon la pente du talus de la route
  - Mur parafouille
    → Hauteur : selon les plans
  - Mur d'extrémité
    → Hauteur : selon les plans
  - Protection du lit du cours d'eau
    → Géotextile à poser lorsque requis
    → Calibre du revêtement en pierres et longueur de la protection : voir plans et chapitre 2 de ce manuel

Montage

– Ponceau voûté ou tuyau circulaire de grand diamètre en tôle forte ondulée
  - Couple de serrage des boulons : voir CCDG (conforme s'il n'est pas possible de desserrer les boulons avec la force d'un homme manipulant d'un seul bras une clé normale)
  - Vérifier que la forme géométrique de la structure est conforme aux plans d'atelier avant d'autoriser le remblayage

Raccordement des éléments

– Tuyaux ou ponceaux préfabriqués en béton avec emboîtures : vérifier fermeture des emboîtures (méthode d'assemblage qui ne favorise pas l'intrusion de matériaux granulaires)

– Ponceaux préfabriqués fermés
  - Vérifier les points de repère pour l'alignement et l'élévation du ponceau
  - Tuyau hélicoïdal en acier
    → Vérifier l'alignement vertical et horizontal des tuyaux avant pose des manchons
    → Aucune saleté entre le manchon et le ponceau
  - Assemblage de l'aval vers l'amont (bout femelle au point haut)
  - Utiliser barre de fer et pièces de bois pour l'assemblage (tendeur ou treuil pour grand diamètre)
  - Mettre en place géotextile (type III) tout le tour de l'ouvrage (longueur : 1,3 fois le périmètre)
  - Ponceau rectangulaire en béton : dispositifs mécaniques à installer (voir plans d'atelier)
  - Vérifier alignement et pente du ponceau : voir texte de ce chapitre

- Ponceau voûté en béton préfabriqué
  - Vérifier position relative des éléments : consulter concepteur si écarts importants
  - Vérifier que les joints entre éléments de la voûte et ceux du radier de certains ponceaux soient décalés comme indiqué à l'avis technique
- Pour les tuyaux en béton, l'espacement à l'emboîtement ne doit pas être supérieur à 12 mm pour les tuyaux ayant un diamètre nominal de 1 200 mm et moins, et a 20 mm pour les diamètres supérieurs. Pour les tuyaux en tôle ondulée, l'espacement entre les deux tuyaux sous le manchon ne doit pas être supérieur à 12 mm. Pour les tuyaux en polyéthylène, aucune ouverture entre les joints n'est permise.
- Membrane d'étanchéité
  - Vérifier la fermeture des joints avant d'autoriser la pose des membranes
  - Membrane soudable lorsque demandé aux plans et devis (voir chapitre 10 de ce manuel)
    → Remblai inférieur à 1 m : membrane d'étanchéité soudable posée après nettoyage et une période de 24 heures sans pluie
      - Ponceau voûté en béton : la membrane est posée jusqu'à ce que le remblai ait au moins 2 m
- Membrane autocollante pour joints (voir chapitre 10 de ce manuel)
  - Vis-à-vis des joints non recouverts de membrane d'étanchéité : 2 bandes de membrane autocollante pour joints (300 et 500 mm) posées après une période de 24 heures sans pluie. Préchauffage préalable des surfaces (chalumeau au propane)

Note : Remplissage des excavations et remblai : voir le chapitre 2 « Fondations » de ce manuel.

CHAPITRE 14

GALVANISATION, MÉTALLISATION ET PEINTURAGE

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **14-1**

14.1 MESURES DE PROTECTION ENVIRONNEMENTALE POUR TRAVAUX DE MÉTALLISATION ET DE PEINTURAGE **14-1**

14.1.1 Mise en œuvre 14-1

14.2 GALVANISATION **14-9**

14.2.1 Assurance qualité 14-11
14.2.2 Mise en œuvre 14-12

14.3 MÉTALLISATION **14-15**

14.3.1 Matériaux 14-15
14.3.2 Mise en œuvre 14-15

14.4 PEINTURAGE DES SURFACES D'ACIER **14-17**

14.4.1 Matériaux 14-17
14.4.2 Assurance de la qualité 14-25
14.4.3 Mise en œuvre 14-26

FIGURES

Figure 14.2.1 Étapes du procédé de galvanisation à chaud 14-13
Figure 14.4.1 Documents des normes SSPC et NACE 14-27
Figure 14.4.2 Définition de l'épaisseur du revêtement 14-45
Figure 14.4.3 Exemple de jauge à dents 14-45
Figure 14.4.4 Exigences d'échantillonnage des revêtements 14-48

TABLEAU

Tableau 14.2.1 Échelle d'électronégativité de certains métaux 14-11

PHOTOGRAPHIES **14-51**

AIDE-MÉMOIRE **14-53**

INTRODUCTION

La protection de l'acier contre la corrosion est un aspect important pour la durabilité des structures comportant des poutres en acier ou des pièces métalliques comme une glissière ou un joint de tablier.

L'agression des surfaces d'acier par des brouillards, des écoulements ou des infiltrations d'eau chargées de chlorures est tenue en compte par les exigences de conception et d'entretien des ouvrages. La nature du milieu environnant, la géométrie des éléments constituant l'ouvrage en acier, la durée de vie escomptée de l'ouvrage ainsi que les coûts liés à l'exécution des travaux sont tous des facteurs à considérer dans la détermination des stratégies pour contrôler le processus de corrosion.

Les méthodes de protection anticorrosion diffèrent selon que les travaux sont réalisés en usine ou au chantier. Dans le cas d'un ouvrage en acier neuf ou pour de nouvelles pièces d'acier utilisées lors de la réparation ou du renforcement d'un ouvrage en acier, les systèmes de protection les plus couramment employés sont la galvanisation, la métallisation ou la peinture. Ces derniers sont généralement appliqués en usine. Pour une remise en état d'un système de protection existant, sur un ouvrage en acier en place, le peinturage au chantier est habituellement la stratégie qui est retenue.

14.1 MESURES DE PROTECTION ENVIRONNEMENTALE POUR TRAVAUX DE MÉTALLISATION ET DE PEINTURAGE

14.1.1 Mise en œuvre

Lors de travaux exécutés au chantier, de nombreuses mesures sont inscrites dans le CCDG pour respecter la qualité de l'environnement. Des enceintes de confinement sont entre autres requises pour limiter l'émission de poussières et de résidus engendrés par la préparation des surfaces et par l'application du système de peinture.

La gestion des résidus doit également être prise en compte lors de travaux au chantier. Le devis spécial précise le type de gestion requis des résidus. Ainsi, il revient au concepteur des plans et devis de prévoir le type de gestion dans ses documents, selon l'âge du revêtement existant ou à partir, lorsque cela est requis, d'analyses de laboratoire.

Production de résidus

Les travaux de repeinturage de structures métalliques impliquent l'enlèvement de la peinture existante et l'application d'un nouveau revêtement de protection. Comme ces activités génèrent des résidus qui peuvent être une source de contamination, des mesures de protection doivent être prévus afin de respecter la qualité de l'environnement.

Avant les années 1980, le plomb était un additif couramment utilisé dans la fabrication des peintures. Par conséquent, les résidus générés dans le cadre de travaux de repeinturage peuvent contenir des concentrations élevées de plomb, ainsi que des traces appréciables d'autres métaux comme le chrome.

Certaines peintures ainsi que des diluants ayant été utilisés lors des opérations de peinturage peuvent également être des matériaux potentiellement dangereux.

- **Émissions de particules dans l'air**

  Les émissions de particules comprennent la poussière provenant de la préparation de surfaces, du nettoyage, de la manipulation de déchets, de la relocalisation des enceintes de confinement de même que des surplus de peinture dus à une pulvérisation excessive (overspray) provenant des opérations de peinturage.

  Les opérations de nettoyage par abrasifs secs produisent généralement de plus grandes quantités de poussières qu'un nettoyage à l'aide d'outils manuels ou mécaniques. Le type d'abrasifs ainsi que le niveau de préparation visé peuvent également avoir une influence sur la quantité de poussières produites.

- **Résidus liquides**

  Les résidus liquides comprennent les eaux provenant des opérations de nettoyage ainsi que celles produites lors d'un nettoyage à l'eau sous pression. Les autres résidus liquides rencontrés sont les produits de peinturage ayant été utilisés ainsi que les fuites ou les renversements accidentels de peintures et de diluants.

- **Résidus solides**

  Les principaux types de résidus solides sont les éclats de peintures, les dépôts de corrosion ou de saletés et les abrasifs utilisés lors des opérations de préparation des surfaces.

  D'autres résidus solides potentiels comprennent :

  - les filtres provenant des systèmes de récupération de poussières et des équipements de recyclage;
  - les cartouches des équipements de respiration assistée;
  - les vêtements mis au rebut;
  - les rebuts provenant des enceintes de confinement;
  - les contenants vides de peintures et de diluants;
  - les guenilles imbibées de diluant et de peinture;
  - le sol contaminé par des renversements accidentels durant les travaux.

- **Législation**

Les opérations liées au peinturage des charpentes métalliques en chantier doivent comporter des mesures de protection environnementale, sans quoi, les résidus peuvent se répandre dans l'environnement, notamment via l'atmosphère, et ainsi contaminer l'air, le sol et l'eau.

Différentes législations ont été établies par les gouvernements afin de limiter ou de prohiber les rejets polluants dans l'environnement. Les principales mesures et règlements sont les suivants :

- Loi sur la qualité de l'environnement (LQE), Recueil des lois et des règlements du Québec (RLRQ), chapitre Q-2;
- Règlement sur la l'assainissement de l'atmosphère (RAA), RLRQ, Q-2, r.4.1;
- Règlement sur les matières dangereuses (RMD), RLRQ, Q-2, r.32;
- Règlement sur le transport des matières dangereuses (RTMD), RLRQ, C-24.2, r.43;
- Règlement sur les rejets dans les réseaux d'égout de la municipalité ou de la MRC concernée;
- Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI), Q-2, r.35.

En résumé, toute opération de nettoyage, de métallisation ou de peinturage ayant pour effet de rejeter des contaminants dans l'environnement est susceptible de contrevenir à l'article 20 de la LQE. De plus, le rejet de matières résiduelles (dangereuses ou non) dans l'environnement est interdit en vertu de l'article 66 de la LQE. Par conséquent, les résidus générés doivent être gérés conformément au REIMR. Cependant, lorsque la concentration de matières lixiviables, comme le plomb dans les résidus, est supérieure aux seuils établis dans le RMD, ces résidus sont considérés comme des matières résiduelles dangereuses et leur gestion doit être conforme aux prescriptions prévues dans le RMD. Quant aux résidus liquides, ils doivent être gérés conformément au règlement municipal relatif aux rejets dans les réseaux d'égout. Enfin, les émissions de résidus de nettoyage se présentant sous forme de poussières et de particules fines ne doivent pas contrevenir au RAA. Par ailleurs, en vertu de la PPRLPI, les travaux sur les structures qui sont situées sur la rive, la plaine inondable ou le littoral d'un cours d'eau peuvent nécessiter l'obtention préalable d'une autorisation environnementale.

Tous ces aspects environnementaux et législatifs font qu'il est important de prévoir des mesures de protection environnementale, tout particulièrement lors des travaux de nettoyage. Ces mesures ont donc comme but de confiner et de récupérer les résidus générés par ces opérations, et de limiter ainsi leur diffusion dans l'environnement.

14.1.1.1 Enceintes de confinement

Toutes les technologies utilisées pour la préparation des surfaces ont le potentiel de produire certains types de résidus ou d'émissions devant être contrôlés pour des considérations de protection environnementale. Les émissions de particules fines sont les plus difficiles à confiner et peuvent se déplacer sur de grandes distances, pouvant avoir ainsi un impact à l'intérieur comme à l'extérieur du chantier. Il est donc impératif d'établir pour les projets de peinturage, des mesures de protection environnementale afin de limiter la diffusion de ces particules et de permettre leur récupération. Les plans et devis prescrivent normalement trois niveaux de confinement de l'aire des travaux. Ces niveaux sont basés essentiellement sur la sensibilité du milieu environnant et l'impact des rejets sur ce dernier.

La conception d'une enceinte de confinement est spécifique pour chaque pont donné. L'enceinte doit recouvrir toutes les surfaces métalliques du pont affectées par les travaux. Il est généralement recommandé d'utiliser des toiles en plastique ou tout autre matériau transparent ou translucide pour les enceintes. Cette particularité facilite l'exécution des travaux en raison de la présence de lumière naturelle. Le CCDG exige que le niveau d'éclairage à l'intérieur de l'enceinte soit au minimum de 300 lux. La performance des mesures de confinement dépend également de l'exécution de bonnes pratiques d'entretien. Par exemple, une réparation rapide des trous, des coutures et des joints détériorés est essentielle pour l'efficacité des enceintes de confinement. Le nettoyage des aires de travaux lors de périodes de grands vents est fortement recommandé pour éviter des situations potentiellement dangereuses.

Les émissions produites dans le cadre de projets de peinturage de structures peuvent mener à une contamination de l'air, du sol et de l'eau environnant. Si les émissions ne peuvent pas être éliminées, leurs impacts sur l'environnement doivent être évalués selon un programme de surveillance déterminé.

Afin de réaliser des programmes de surveillance adéquats, différentes procédures d'analyse et d'échantillonnage sont disponibles et peuvent être utilisées pour déterminer les niveaux de contamination du sol, de l'eau et de l'air. Le programme de surveillance doit prévoir des échantillonnages, avant d'entreprendre les travaux, afin de mieux évaluer l'impact des travaux sur l'environnement. Toutes ces mesures et résultats d'essais peuvent, par la suite, être comparés à des critères, des standards ou des lignes directrices prévus dans divers règlements relatifs à l'environnement.

<u>Confinement à l'intérieur d'un rayon de 30 m</u>

Ce confinement a pour effet de limiter le rejet de particules à l'intérieur d'un rayon maximal de 30 m de la zone des travaux. Ce type d'abri doit tout de même retenir l'essentiel des particules non toxiques, mais on accepte qu'une faible portion de particules volatiles se répandent jusqu'à 30 m. Ce confinement minimal est exigé dans le cas où les travaux sont situés à plus de 100 m d'une résidence, d'un jardin ou d'une terre en pâturage pour le bétail.

Confinement à l'intérieur d'un rayon de 10 m

Ce niveau de confinement est exigé dans le cas où les travaux sont situés à moins de 100 m d'une résidence, d'un jardin ou d'une terre pâturage pour le bétail. Cette enceinte de confinement est également exigée en présence d'une prise d'eau potable, d'un plan d'eau (récréatif ou commercial) ou encore d'un milieu biophysique sensible susceptibles d'être contaminé par des rejets.

Ce type d'abri doit tout de même retenir la presque totalité des particules, sans toutefois exiger qu'il soit parfaitement étanche.

Enceinte de confinement total

Ce type de confinement doit être étanche à la poussière et au vent, et doit prévenir la fuite de tout matériau dans l'environnement, y compris la poussière provenant du nettoyage à l'aide d'abrasifs. Il est en outre exigé dans le cas où des milieux fortement urbanisés ou particulièrement sensibles sont situés à moins de 50 m de l'aire de travail.

Une enceinte de ce type peut comprendre les paramètres suivants :

- des entrées ou des sas étanches de type vestibules;
- des toiles imperméables avec des coutures chevauchées et scellées;
- des toiles fermement attachées à intervalles rapprochés pour minimiser les charges de vent;
- des joints scellés entre les matériaux de construction tels que les panneaux de contreplaqué utilisés pour les planchers et les murs.

Lorsqu'une enceinte de confinement total est requise, il est recommandé d'implanter un système à pression négative avec filtre à air, à la sortie, pour bien gérer l'enlèvement de la poussière, à l'intérieur de l'enceinte. On considère cet ensemble de mesures comme optimales, puisque ce système permet une récupération totale des résidus générés et prévient tout rejet dans l'environnement. De plus, l'utilisation de ce système offre une protection accrue aux travailleurs.

Protection des travailleurs

Les travailleurs qui ne sont pas adéquatement protégés, lors des activités de nettoyage par projection d'abrasifs secs, sont exposés à respirer de l'air hautement contaminé par les poussières et les particules que génèrent ces opérations. Ces contaminants peuvent s'infiltrer dans l'organisme humain principalement par ingestion et par inhalation.

Les peintures et les solvants peuvent également provoquer des effets néfastes pour les humains en cas d'ingestion, d'inhalation ou d'exposition répétée ou prolongée aux produits, pouvant même dans certains cas provoquer la mort. De plus, certains produits peuvent être extrêmement dangereux en cas de contact avec les yeux et la peau. Il est important que chaque travailleur ait reçu, comprend et applique les mesures de sécurité

propre aux travaux. Les fiches signalétiques des peintures et des solvants utilisés fournissent toutes les informations sur les normes de sécurité et les précautions à prendre pour la manipulation des produits :

- identification et utilisation du produit;
- premiers soins;
- ingrédients dangereux;
- risques d'incendie et d'explosion;
- données sur la réactivité;
- propriétés toxicologiques;
- mesures préventives;
- classification du SIMDUT (Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail);
- vêtements de protection.

L'absorption de contaminants par voie digestive peut être minimisée en respectant des règles strictes d'hygiène, comme le contrôle de la manipulation de la nourriture dans la zone de travail et un lavage fréquent des vêtements de travail.

Pour éviter l'absorption de contaminants par voie respiratoire, il convient d'équiper les travailleurs d'un appareil respiratoire individuel approprié. Le type de protection dépend de la nature, de la forme, de la concentration des contaminants dans l'air ainsi que des conditions d'opération. Selon le cas, il s'agit d'appareils de protection respiratoire à épuration, à approvisionnement d'air ou d'équipement qui combine les deux principes. Tous ces appareils doivent être testés et approuvés par le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

Les respirateurs à épuration d'air sont constitués d'un masque qui enveloppe les voies respiratoires (nez et bouche) ainsi que d'éléments épurateurs d'air. Le travailleur respire de l'air ambiant, mais purifié à l'aide de cartouches changeables. Ce type d'appareil est principalement recommandé pour les travaux à l'intérieur de l'enceinte lorsqu'il n'y a pas de nettoyage par abrasifs.

Indépendamment de l'air ambiant contaminé, les respirateurs à approvisionnement d'air fournissent aux utilisateurs de l'air frais, par des conduits de faible diamètre reliés à des compresseurs, à des réservoirs ou à une bouteille d'air comprimé. Ce type d'appareil est recommandé lors des travaux de nettoyage avec abrasifs, à l'intérieur de l'enceinte.

Pour le choix des respirateurs à utiliser, la réglementation québécoise, plus précisément le Règlement sur la qualité du milieu de travail, renvoie au *Guide des appareils de protection respiratoire utilisés au Québec*, publié par l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST).

14.1.1.2 Gestion des résidus

Différentes approches peuvent être envisagées pour la récupération des résidus générés dans un projet de peinturage. Les résidus peuvent être récupérés au point de nettoyage des surfaces (par exemple, avec un aspirateur) ou à partir de la zone générale de travail. La méthode de collecte devrait être sélectionnée en conjonction avec la méthode d'enlèvement de la peinture ainsi qu'avec le concept du système de confinement, de façon à assurer une opération complètement intégrée.

Résidus liquides

De façon générale, les eaux usées doivent être filtrées pour en retirer les résidus solides, avant leur gestion finale. Les eaux usées filtrées doivent être gérées conformément au règlement sur les rejets dans les réseaux d'égouts qui est propre à la municipalité ou à la MRC où sont exécutés les travaux. En cas de non-conformité des eaux usées, aux normes de rejet prévues au règlement, elles doivent être acheminées dans un lieu autorisé par le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC). Les résidus de filtration doivent être caractérisés et gérés comme les résidus solides.

Quant aux peintures et aux diluants, ce sont des matières dangereuses et par conséquent, ils doivent être entreposés et gérés de manière sûre et sécuritaire conformément au RMD. Parmi les recommandations visant à obtenir un entreposage adéquat des matières dangereuses, on peut citer les suivantes :

- entreposer les produits chimiques non utilisés et les résidus dans des endroits séparés;
- localiser les aires d'entreposage à distance des égouts pluviaux, des conduites et de l'eau de ruissellement en surface;
- localiser les aires d'entreposage à distance de la zone de travail principale de façon à ce que la sécurité des résidus ne soit pas compromise par les opérations quotidiennes;
- utiliser seulement des récipients non endommagés et bien entretenus, sans rouille ni trous, avec des couvercles étanches et sécuritaires;
- ne pas laisser de récipients ouverts sans surveillance et toujours les laisser fermés, s'ils ne sont pas utilisés;
- s'assurer d'un plan d'urgence minimal pour le nettoyage de « petits » renversements sur le site et pour retenir les « plus grands » renversements jusqu'à l'arrivée de secours extérieurs;
- ne pas mélanger ou combiner des matériaux ayant des classes de dangerosité différentes;
- étiqueter clairement tous les récipients contenant des résidus de façon à éviter le mélange potentiellement dangereux de matériaux réactifs;

- limiter l'accès aux personnes autorisées seulement et s'assurer que les aires d'entreposage sont sécuritaires contre le vandalisme;
- prévoir un plan d'urgence identifiant clairement la localisation des endroits clés sur le site des travaux;
- sortir aussi rapidement que possible à l'extérieur du site, les produits chimiques et les résidus en excès, de manière à minimiser la problématique de sécurité sur le chantier;
- donner au personnel, de la formation relative à la manipulation, à l'entreposage et à l'élimination de matières dangereuses utilisées ou produites au chantier.

Résidus solides

Les résidus solides constituent des matières résiduelles au sens de la LQE. Ces matières résiduelles sont classées soit non dangereuses ou dangereuses, en fonction des dispositions du RMD.

Les éclats de peinture, les abrasifs usés ainsi que les particules récupérées dans les enceintes de confinement et de filtration des résidus liquides doivent être soumis aux analyses appropriées, en vertu du RMD, afin de déterminer s'il s'agit de matières résiduelles dangereuses ou non.

L'échantillonnage des résidus doit être effectué conformément aux cahiers appropriés du *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales* du MELCC. La réalisation des analyses chimiques doit être confiée à un laboratoire possédant les accréditations du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec pour les paramètres à analyser.

En fonction des résultats obtenus, les matières résiduelles non dangereuses devront être acheminées dans un lieu autorisé par le MELCC et régi par le REIMR. Quant aux matières résiduelles dangereuses, elles devront être acheminées dans un lieu autorisé régi par le RMD.

Transport et élimination des résidus

Une fois chaque chargement livré au lieu autorisé visé, et ce, pour tous types de résidus, les documents attestant de la prise en charge par l'exploitant du lieu autorisé (manifestes de transport, bons de pesée électronique précisant leur nature, leur quantité, etc.) doivent être remis au représentant du Ministère.

Selon le Règlement sur le transport des matières dangereuses (Québec), le transporteur doit être titulaire d'un permis pour le transport des matières dangereuses résiduelles vers un lieu d'élimination. Conformément à l'article 4.4 du Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (Canada), tout envoi de matières dangereuses doit être accompagné d'un document d'expédition.

Le Règlement sur le transport des marchandises dangereuses (Canada) ne prescrit aucun formulaire particulier pour le document d'expédition. Le document d'expédition doit cependant contenir les informations suivantes :

- les noms et adresses de l'expéditeur et du destinataire;
- le nom du transporteur initial;
- la masse ou le volume total des matières dangereuses;
- la description de la matière dangereuse, comprenant, dans l'ordre suivant :
  - l'appellation réglementaire;
  - les classifications primaires et subsidiaires, s'il y a lieu;
  - le numéro d'identification du produit;
- un numéro de téléphone d'urgence permettant de joindre en tout temps l'expéditeur.

Le transporteur doit s'assurer, lorsqu'il prend en charge un envoi de matières dangereuses, qu'il reçoit de l'expéditeur une copie du document d'expédition et que ce document contient les informations requises par le règlement. Le transporteur doit vérifier que les produits transportés correspondent, en quantité et en catégorie, aux documents d'expédition. Une copie du document doit accompagner l'envoi jusqu'à sa livraison au lieu autorisé par le MELCC. Le transporteur remet au destinataire, ou à la personne à qui il transfère la matière dangereuse, une copie du document. De plus, le surveillant doit s'assurer de recevoir une copie finale de ce document afin de vérifier que les produits ont bel et bien été acheminés à un centre de traitement de ces résidus.

14.2 GALVANISATION

Le procédé utilisé pour la galvanisation est celui à chaud. Cette exigence du CCDG est importante, car il existe sur le marché des procédés de galvanisation à froid, mais ceux-ci n'ont pas démontré, hors de tout doute, une performance équivalente à la galvanisation à chaud. Mentionnons que le procédé de galvanisation n'est pas indiqué sur les plans et devis, car le procédé à chaud a été jusqu'à récemment le seul procédé disponible, il était donc inutile de le préciser comme tel sur les plans et devis. Au lieu de modifier tous les documents types du Ministère, il a été jugé plus facile de modifier le CCDG en y ajoutant que le procédé de galvanisation accepté est le procédé à chaud.

La galvanisation à chaud est effectuée en usine et elle est généralement limitée à des éléments d'une longueur inférieure à 16,7 m en raison de la longueur des bains de galvanisation. Les dimensions maximales des bains de galvanisation disponibles au Québec sont actuellement de 1,83 m de largeur sur 17,0 m de longueur sur 3,65 m de hauteur. Dans le cas où une pièce aurait des dimensions plus grandes que celles du bain, il serait possible d'effectuer le trempage en deux étapes et en tournant la pièce. Cette pratique est déconseillée, puisque beaucoup plus coûteuse du

fait que chaque étape de nettoyage et de préparation des surfaces doit aussi être effectuée en double trempage et par la formation d'une ligne de galvanisation à la rencontre des deux trempages.

La présente partie du manuel s'applique notamment à la galvanisation des systèmes structuraux (poutre, diaphragme et contreventement), des équipements (appareils d'appui, joint de tablier, glissières, garde-fous et drains) et des armatures du béton. Elle ne couvre pas les produits disponibles en permanence sur le marché, et galvanisés d'avance (boulons, attaches de coffrages). Ces produits sont indiqués au CCDG et les exigences de galvanisation qui les concernent apparaissent généralement dans leurs normes respectives.

Mentionnons que pour les pièces peu visibles du dessous d'un tablier (contreventements, entretoises et longerons), il est souvent requis au devis spécial de galvaniser ces pièces parce que cela facilite les travaux, notamment par la robustesse de ce revêtement ainsi que l'élimination du besoin de retouches par temps froids. Le surveillant doit par contre refuser toute demande de l'entrepreneur à étendre la galvanisation à d'autres pièces plus visibles, comme les longerons de rive, afin de ne pas nuire à l'aspect esthétique de l'ouvrage.

La méthode de galvanisation à chaud consiste à immerger les pièces d'acier dans une série de bains afin de les préparer et, par la suite, à les immerger dans un dernier bain de zinc en fusion à une température d'environ 450 ^{o}C. À cette température, il y a formation de couches d'alliages métallurgique fer-zinc près de la surface d'acier jusqu'à du zinc pur en surface.

La galvanisation est basée sur le principe de protection sacrificielle cathodique, c'est-à-dire qu'il s'établit un courant électrique entre le métal contenu dans le revêtement et le métal à protéger, le premier agissant comme anode et l'autre comme cathode. La différence de potentiel entre les deux métaux fait en sorte que le métal le plus électronégatif est sacrifié au profit de celui qui est le moins électronégatif.

Le rôle respectif de l'anode ou de la cathode dépend des potentiels des métaux. Plus l'écart entre les potentiels électrochimiques est grand, plus le processus de corrosion de l'anode sera rapide. Un exemple de classement des potentiels des métaux est présenté au tableau 14.2.1.

Tableau 14.2.1 Échelle d'électronégativité de certains métaux

	Extrémité Potentiel (mV)
Graphite	+90
Acier inoxydable	-100
Argent	-130
Cuivre	-360
Plomb	-510
Bronze	-360
Fer	-610
Aluminium	-750
Zinc	-1130
Magnésium	-1600

Le contact entre le fer et le cuivre montre, par exemple, que le fer est l'anode et le cuivre, la cathode. Le fer joue dans ce cas le rôle d'anode sacrificielle et se corrode préférentiellement au cuivre. Le cuivre est ainsi protégé par le fer.

Dans le cas du contact entre le zinc et le fer, le zinc est l'anode et le fer la cathode. C'est le zinc qui est ici l'anode sacrificielle et qui se corrode préférentiellement au fer.

14.2.1 Assurance qualité

Pour le contrôle de la qualité de la galvanisation d'éléments en acier réalisée en usine, le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur fournit une attestation de conformité contenant les informations de base relatives au processus de galvanisation (galvaniseur, lieu, date, épaisseur, adhérence, qualité). De plus, le surveillant peut aviser la Direction du contrôle de la qualité des matériaux (DCQM) du Ministère (par l'entremise du chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) afin que ce dernier ou un de ses prestataires de services effectue un contrôle de réception. Puisque ce contrôle n'est pas systématique, le surveillant ne reçoit pas toujours un rapport. Le surveillant doit cependant informer la DCQM de toute anomalie qu'il pourrait déceler sur la galvanisation afin que celle-ci resserre au besoin son contrôle de la qualité.

Le surveillant vérifie les différentes pièces à leur arrivée au chantier et s'assure que la galvanisation n'a pas été endommagée pendant le transport ou la manutention. Il n'a pas à vérifier l'épaisseur du zinc parce qu'il y a très rarement une déficience à ce niveau. Mentionnons que l'exigence d'épaisseur de 75 µm du CCDG relative aux profilés tubulaires est inférieure à celle de 87 µm exigée pour les armatures et celles spécifiées dans la norme ASTM A123/A123M pour les autres pièces métalliques, car la composition chimique de l'acier ne permet pas d'avoir une épaisseur plus grande. De même, l'épaisseur minimale de zinc exigée pour les accessoires de coffrages n'est que de 50 µm, puisqu'une épaisseur supérieure pourrait empêcher de visser les cônes en plastique.

14.2.2 Mise en œuvre

14.2.2.1 Préparation des surfaces

Le temps d'immersion dans le bain de galvanisation dépend principalement du volume et du poids de la pièce à galvaniser. Cette période de temps doit être suffisamment longue pour que l'échange thermique complet puisse se faire entre la pièce métallique et le zinc en fusion. Après un certain délai d'immersion, la réaction métallurgique stagne et l'épaisseur de galvanisation n'augmentera plus de façon significative. La figure 14.2.1 montre les différentes étapes de galvanisation.

14.2.2.2 Procédé de galvanisation

La galvanisation à chaud est un procédé métallurgique, c'est-à-dire qu'il y a amalgame du zinc avec le substrat d'acier. Ce n'est donc pas un simple accrochage mécanique mais bien métallurgique ce qui est beaucoup plus robuste. Les principales couches de la galvanisation sont les suivantes :

- couche Eta : 100 % de zinc, dureté DPN de 70;
- couche Zeta : 94 % de zinc et 6 % de fer, dureté DPN de 179;
- couche Delta : 90 % de zinc et 10 % de fer, dureté DPN de 244;
- couche Gamma : 75 % de zinc et 25 % de fer, dureté DPN de 250;
- couche de base : 100 % de fer, dureté DPN de 159.

L'épaisseur de la galvanisation est très influencée par la composition chimique de l'acier (surtout en silicium et phosphore), par la géométrie de la pièce, par les opérations de fabrication (laminage, soudage, dressage, nettoyage, etc.).

Après la galvanisation, la couche de surface Eta est relativement fragile. Cette couche doit subir une carbonatation à l'air libre afin de se stabiliser et de devenir plus dure. Dans des conditions d'exposition normales, cette carbonatation se produit dans un délai d'environ 25 à 30 jours suivant la sortie du bain de zinc. La méthode d'entreposage est primordiale, car, en présence d'eau stagnante, une jeune galvanisation produira de l'hydroxyde et de l'oxyde de zinc, ou plus communément appelé de la rouille blanche. Cette dernière fragilise considérablement la couche de zinc et a un impact très néfaste sur la durabilité de la protection galvanique. Des bonnes pratiques d'entreposage sont essentielles afin d'optimiser la protection par galvanisation.

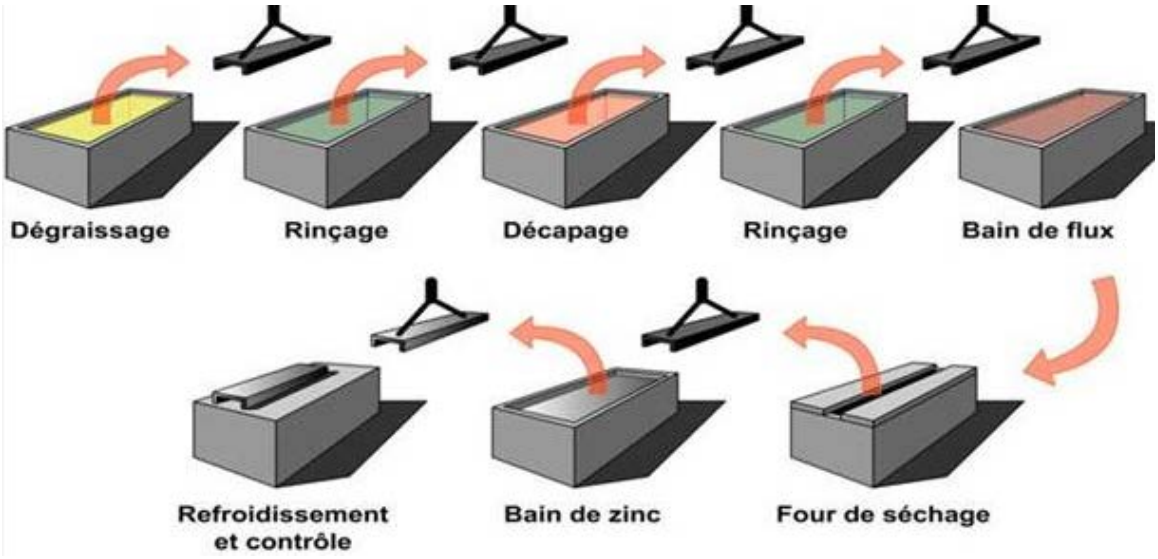


Figure 14.2.1 Étapes du procédé de galvanisation à chaud

Armature

Les barres d'armature galvanisées doivent être pliées après avoir été galvanisées. Cette exigence a été ajoutée puisque, lors du pliage, des microfissures se forment dans le rayon de pliage. Lors des opérations de nettoyage à l'acide du procédé de galvanisation, des sels d'acide restent prisonniers à l'intérieur de ces microfissures et peuvent affecter la durabilité des armatures, puisqu'une corrosion locale est favorisée.

Pour les barres d'armature, le pliage après galvanisation crée fréquemment la fissuration de la galvanisation dans le rayon de pliage. Le CCDG spécifie que la somme des superficies d'écaillage ne doit pas être supérieure à la section transversale de la barre d'armature. Cette dernière doit être rejetée si cette fissuration ne respecte pas ce critère.

14.2.2.3 Protection des éléments galvanisés

Une fois les matériaux livrés au chantier, le surveillant vérifie que leur entreposage est fait de façon adéquate. Il doit aussi veiller à une bonne manutention des pièces. Une bonne pratique consiste à utiliser des élingues non métalliques ou tout autre système afin d'éviter le contact entre un composant métallique d'un équipement de manutention et les éléments galvanisés. L'entrepreneur doit, entre autres, se conformer aux exigences du CCDG relatives à la circulation de l'air et de l'eau entre les pièces pour éviter la formation de rouille blanche. Dans le cas où il y aurait formation de rouille blanche, le surveillant doit consulter la DCQM du Ministère pour s'enquérir des méthodes à utiliser pour l'enlever.

14.2.2.4 Réparation après la galvanisation

Le CCDG exige que des retouches soient effectuées selon des critères maximaux de superficie endommagée. Toutes les défectuosités d'une largeur inférieure à 25 mm et dont l'addition des superficies déficientes n'excède pas 0,5 % de la surface totale de la pièce peuvent être retouchées. Au-delà de ces limites, la galvanisation doit être reprise entièrement, car la réparation n'assurera pas une durabilité acceptable. Le CCDG permet aussi que la réparation soit effectuée par métallisation.

Les surfaces doivent être réparées lorsque la galvanisation a été endommagée. Les méthodes de réparation indiquées dans le CCDG sont liées à l'ampleur des dommages. Les surfaces endommagées doivent être préalablement nettoyées selon les exigences de la norme SSPC – SP 11 « Power Tool Cleaning to Bare Metal ». L'application au pinceau de deux couches d'enduit riche en zinc doit être réalisée dans les conditions environnementales spécifiées sur la fiche technique du produit employé.

Le CCDG exige que les enduits riches en zinc utilisés en usine ou au chantier doivent offrir une teneur métallique en zinc d'au moins 87 % dans le feuil sec. La réparation doit offrir une épaisseur totale minimale d'enduit sec de 130 µm. Plusieurs enduits, parmi ceux les plus courants sur le marché, ont été évalués par le Ministère et les produits suivants ont été acceptés :

- « ZRC » disponible chez ZRC;
- « Pâte de zinc 70-40 » disponible chez Metaflux;
- « Crown – 67009 » disponible chez Crown;
- « Zinga » disponible chez Zingametal;
- « Rust-Anode » disponible chez Bio-Protect SA;
- « Galva ZN » disponible chez Aerochem.

Si l'enduit proposé par l'entrepreneur n'est pas un produit accepté, il se peut qu'il ne respecte pas les exigences de la norme précitée et doit être évalué. Étant donné que le processus d'évaluation peut prendre plusieurs mois, le surveillant doit informer l'entrepreneur de ce délai et lui demander de proposer un autre produit, idéalement un parmi ceux qui sont acceptés. Bien que la liste ci-dessus ne soit pas contractuelle, son utilisation permet de réduire considérablement les formalités d'acceptation des produits proposés par l'entrepreneur; c'est la raison fondamentale qui explique que les surveillants et les entrepreneurs y trouvent leur compte.

Dans le cas des semelles inférieures des poutres en acier galvanisé à souder aux appareils d'appui, le surveillant doit s'assurer que la préparation de surfaces par meulage est adéquate, et que les soudures sont protégées au moyen de deux couches d'enduit riche en zinc, tel que décrit au CCDG.

Toutes les extrémités des armatures coupées après la galvanisation doivent être retouchées.

14.3 MÉTALLISATION

14.3.1 Matériaux

Tout comme la galvanisation, la métallisation fournit une protection anticorrosive de type galvanique aux éléments en acier grâce à l'action sacrificielle du zinc. Bien que la métallisation puisse se faire au chantier, elle est surtout réalisée en usine en raison des exigences élevées concernant la préparation des surfaces. Contrairement à la galvanisation, la métallisation n'a pas de contraintes relativement à la longueur des pièces, puisque l'application est effectuée à l'aide d'un équipement de pulvérisation mobil (robotisé ou manuel).

14.3.2 Mise en œuvre

14.3.2.1 Préparation des surfaces

Le CCDG exige que les surfaces devant recevoir la métallisation soient préparées selon le type de soin SSPC-SP 5/NACE n^{o} 1 « sablage à blanc ». La définition des types de soins SSPC et NACE se trouve dans la section 14.4.3.1 « Préparation des surfaces » du présent manuel. Le profil de rugosité, donc d'accrochage de la métallisation, doit être anguleux et avoir une épaisseur variant de 50 à 100 µm selon l'épaisseur minimale de métallisation exigée.

À la suite de la préparation des surfaces, le délai d'application de la métallisation est très court. Le CCDG exige que les surfaces soient métallisées dans un délai maximal de quatre heures. Ce délai est exigé puisqu'une oxydation rapide de surface (« flash rust ») se produit très rapidement sur les surfaces fraîchement nettoyées et pourrait compromettre l'adhérence de la métallisation.

14.3.2.2 Application

Pour les travaux de métallisation réalisés en usine, un contrôle de la qualité est normalement assuré par la Direction du contrôle qualité des matériaux (DCQM) du Ministère ou par l'un de ses prestataires de services. En cas de doute sur la qualité du revêtement, le surveillant doit communiquer avec cette Direction.

L'épaisseur de la métallisation est spécifiée aux plans et devis ainsi qu'au *Tome III – Ouvrages d'art* du Ministère. L'épaisseur de métallisation typique est de 130 µm. L'épaisseur de revêtement doit être conforme au niveau 4 du tableau 1 « Coating Thickness Restriction Levels » de la norme SSPC – PA 2 « Procedure for Determining Conformance to Dry Coating Thickness Requirements ». Ce tableau indique que la tolérance d'épaisseur pour le revêtement est limitée à 150 % de celui qui est spécifié, soit dans ce cas-ci à une épaisseur totale de 200 µm. Une grande épaisseur de métallisation n'est pas nécessairement un gage d'une plus grande durabilité puisque le zinc deviendra plus fragile. En fait, une épaisseur de métallisation standard à laquelle un scellant est ajouté sera une solution beaucoup plus durable.

Dans le cas d'un ouvrage en acier neuf dont la métallisation est faite en usine, il est indiqué au CCDG que les surfaces de contact des pièces devant être assemblées par boulonnage doivent être métallisées sur l'ensemble de la surface ou ne doivent pas être métallisées, sauf sur une distance de 5 mm au pourtour des surfaces de contact. Dans la deuxième option, la surface non métallisée doit être nettoyée conformément aux exigences de la SSPC SP-6, et la surlargeur de 5 mm est nécessaire afin de sceller le bord des pièces contre l'entrée de l'humidité et des contaminants. Lorsque la surface de contact est entièrement métallisée, l'épaisseur de métallisation doit être uniforme et de 130 µm. Cette valeur vise à éviter le fluage. De plus, le surveillant doit s'assurer que les trous pour les boulons ne sont pas obstrués par l'accumulation de projections de zinc. Dans ce cas, tous les trous doivent être vérifiés et au besoin repercés.

Adhérence

L'adhérence de la métallisation doit être testée selon la méthode d'arrachement (« pull-off test »), selon la norme ASTM D4541 « Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers » et doit être supérieure à 3,5 MPa. Cette méthode consiste à coller une pastille standardisée sur la métallisation et à l'arracher à l'aide d'un instrument spécialisé. Il s'agit donc d'une méthode destructive et la surface endommagée doit être retouchée par la suite.

L'adhérence de la métallisation doit aussi être vérifiée selon la méthode du couteau (« cut test ») conformément à la norme ASTM D6677 « Standard Test Method for Evaluating Adhesion by Knife ». Cette méthode consiste à faire deux entailles formant un angle de 30 à 45^{o} environ dans la métallisation à l'aide d'un couteau. En utilisant la pointe du couteau, on tente de soulever la couche de métallisation sur les bords de l'entaille à la croisée de ces dernières. Selon le degré de résistance et la largeur de décollement de la métallisation, l'adhérence est qualifiée selon une échelle de 0 à 10. Au niveau 0, la métallisation se décolle facilement sur une largeur supérieure à 6,3 mm. À l'opposé, le niveau 10 montre que la métallisation est très difficilement détachable (fragments de moins de 0,8 mm). Les différents niveaux sont détaillés dans cette norme.

Revêtement endommagé

Les surfaces doivent être réparées lorsque la métallisation a été endommagée. Les méthodes de réparation indiquées dans le CCDG sont liées à l'ampleur des dommages. Les exigences ainsi que les méthodes de réparation des pièces endommagées sont identiques à celles des retouches pour la galvanisation. Dans le cas où les dommages excédent les maximums permis, les réparations doivent être réalisées par métallisation, et inclure une nouvelle préparation de la surface.

Dans le cas des semelles inférieures des poutres en acier métallisées à souder aux appareils d'appui, le surveillant doit s'assurer que la préparation de surfaces par masquage a été adéquatement réalisée en usine, et que les soudures ainsi que les surfaces non métallisées sont protégées au moyen de deux couches d'enduit riche en zinc.

14.4 PEINTURAGE DES SURFACES D'ACIER

14.4.1 Matériaux

Le peinturage est un procédé de protection anticorrosion largement utilisé au Ministère pour les ouvrages en acier. Les peintures agissent grâce à l'action sacrificielle d'une couche primaire riche en zinc ou par l'effet de barrière de façon à résister aux agressions extérieures. L'application de peinture peut se faire aussi bien en usine qu'au chantier, bien que les contraintes d'exécution soient bien différentes.

Pour les travaux de peinturage en usine ou en chantier, l'entrepreneur doit utiliser un système de peintures homologué par le Ministère. Rappelons que les listes d'homologation des systèmes de peintures sont disponibles sur le site Internet du Ministère.

Composition de la peinture

Les produits prédominants qui confèrent à la peinture ses propriétés déterminent sa famille de classification : peinture aux résines époxydiques, aux résines polyuréthanes, au zinc, à l'aluminium, etc. Essentiellement, la peinture est composée d'un liant, d'un solvant, de pigments et d'adjuvants.

- **Liant**

  Le liant constitue l'élément essentiel d'une peinture. Il donne au revêtement ses caractéristiques physiques comme le brillant, la rétention de couleur, la dureté, la résistance aux produits chimiques et l'adhérence. Le liant est constitué d'huiles, de résines naturelles ou de résines synthétiques. Les huiles et les résines naturelles n'ont généralement subi aucune modification : huile de lin ou de soja et résine de copal ou de colophane, etc.

  Les résines synthétiques proviennent d'une modification chimique des huiles ou des résines naturelles : résines acryliques, alkydes, époxydiques, polyesters, polyuréthanes, etc.

- **Solvant**

  La partie solvant d'une peinture permet de diluer le mélange « pigments-liant » afin d'obtenir la viscosité nécessaire à son application. Étant donné que le solvant s'évapore à mesure que le revêtement durcit, il n'a que peu d'incidence sur les caractéristiques du produit fini.

- **Pigments**

  Les pigments sont des substances en poudre fine, insolubles dans le liant et le solvant. Ils sont utilisés pour leur pouvoir opacifiant élevé, leur pouvoir colorant et leurs qualités protectrices. Certains pigments offrent des propriétés anticorrosion, soit par protection cathodique, soit en jouant un rôle de barrière entre les agents corrosifs de l'atmosphère et la surface de l'acier.

  Pour ce qui est de la poudre de zinc, elle joue un rôle similaire à la galvanisation à chaud ou à la métallisation. En raison de son bas potentiel électrochimique, le zinc est sacrifié au profit de l'acier, permettant ainsi une protection cathodique. Cette action sacrificielle se révèle supérieure si la proportion de poussière de zinc est élevée et si le liant est en faible quantité. Le rôle des pigments d'oxyde de fer lamellaire ainsi que des pigments d'aluminium pelliculant est de bloquer le passage de l'humidité, de l'oxygène et des agents polluants contenus dans l'air. Ces pigments servent également à protéger le liant contre une dégradation provoquée par les rayons ultraviolets. Durant le processus de séchage, les particules lamellaires d'épaisseur très fine se disposent en couches superposées presque parallèles à la surface, rappelant en quelque sorte des écailles de poissons.

- **Adjuvants**

  Divers adjuvants sont incorporés à faible dose dans la peinture pour améliorer les conditions de fabrication, de conservation, d'application ou certaines propriétés. Ils sont identifiés comme des « agents » jouant chacun des rôles bien précis : agents mouillants, antipeaux, épaississants, stabilisants, etc.

Séchage de la peinture

Bien que le terme « séchage » soit largement utilisé pour décrire la période de mûrissement, de durcissement ou de polymérisation de la peinture, il n'est pas adéquat, puisqu'il est plutôt défini comme l'action de séparer un liquide d'un solide. La réalité de la peinture est beaucoup plus complexe, mais dans le domaine de la peinture, il définit l'ensemble des transformations physiques, physico-chimiques ou chimiques qui caractérisent le passage du feuil d'une peinture de l'état liquide à l'état solide.

Le contrôle du séchage est important, puisqu'il permet de vérifier si chaque couche de peinture a eu une cure adéquate avant l'application de la couche suivante.

Durée de séchage

Le séchage d'une peinture comporte plusieurs stades : sec au toucher, sec pour recouvrir, sec pour manipuler, sec à cœur.

- Sec au toucher (Set-to-touch)

  C'est le temps nécessaire pour obtenir un feuil pouvant être légèrement collant mais qui ne doit pas adhérer au doigt.

- Sec pour recouvrir (Dry-to-recoat)

  C'est le temps nécessaire pour qu'on puisse appliquer une autre couche de peinture sans qu'il ne se développe de défectuosités du feuil, telles que le cloquage, le frisage, le ramollissement, la perte d'adhérence. Cette étape correspond souvent au séchage sec au toucher.

- Sec pour manipuler (Dry-to-handle)

  C'est le temps nécessaire pour que le feuil puisse supporter des conditions normales d'utilisation, de manutention, de stockage et de transport.

- Sec à cœur (Dry-hard)

  C'est le temps nécessaire pour obtenir un feuil ne laissant aucune marque lorsqu'on lui applique une pression d'environ un kilogramme avec le pouce durant 20 secondes.

Types de séchage

On distingue deux grands types de réactions lors du durcissement du revêtement : la polymérisation et l'évaporation du solvant.

Les peintures qui sèchent par évaporation de solvant ne se transforment pas chimiquement lors de la cure, contrairement aux peintures qui durcissent par polymérisation. Ainsi, les feuils de peinture ayant séché par évaporation de solvant peuvent être redissous par le solvant d'origine, ce qui n'est pas le cas pour les feuils de peinture durcis par polymérisation.

- **Polymérisation**

  La polymérisation se produit lorsque plusieurs molécules de résine identiques se combinent pour former une molécule complexe plus grosse. La polymérisation, qui est la combinaison chimique de plusieurs monomères en une résine unique, est le processus de cure le plus commun actuellement.

On distingue quatre types principaux de polymérisation :

- Par apport d'oxygène :

  La polymérisation par apport d'oxygène est un processus de cure où l'oxygène réagit avec des huiles dans la peinture humide pour finalement former un film solide. Les principaux revêtements séchant par ce type de polymérisation sont les alkydes, les résines phénoliques et les huiles.

- Par co-réaction chimique :

  La polymérisation par co-réaction chimique s'effectue lorsqu'un composant de base, la résine, réagit avec un agent convertisseur, l'activant, pour former un feuil solide. Les peintures séchant par ce type de polymérisation sont constituées de deux ou plusieurs composants qui doivent être mélangés avant leur application finale. Les peintures séchant par co-réaction chimique sont les peintures aux résines époxydiques, aux résines polyuréthanes et aux résines de polyester.

- Par apport d'humidité

  Les peintures durcissant par apport d'humidité, appelées peintures hygroréactives, réagissent uniquement avec l'humidité contenue dans l'air pour durcir. C'est le cas des résines polyuréthanes à un seul composant et de certaines peintures au zinc inorganique.

- Par apport de chaleur

  Le durcissement par apport de chaleur consiste à amener des produits sous forme de poudres ou de liquides jusqu'à leur point de fusion puis refroidis.

– **Évaporation du solvant**

Le séchage d'une peinture par évaporation du solvant consiste à laisser sortir les solvants vers l'extérieur, permettant à la partie solide de la peinture de se déposer sur la surface. Les peintures séchant par l'évaporation du solvant sont les gommes-laque, les vinyles, les caoutchoucs chlorés et les bitumes.

Un autre type de séchage par « évaporation de solvant » est la coalescence, où l'eau joue plus un rôle de diluant que de solvant.

Lors de l'évaporation de l'eau en cours de durcissement, les particules de résine dispersées fusionnent ensemble pour former un feuil de peinture stable. La plupart des peintures-émulsion, telles que les acryliques présentent ce type de durcissement.

Adhérence de la peinture

Pour assurer une bonne protection, la peinture doit adhérer parfaitement au subjectile sur toutes les faces exposées aux intempéries. Il existe deux mécanismes d'adhérence : l'adhérence mécanique et l'adhérence chimique.

- **Adhérence mécanique**

  La plupart des peintures adhèrent au métal par simple attraction physique qui se produit lorsque deux surfaces sont assez proches l'une de l'autre. L'accrochage est favorisé si le profil de la surface à peinturer présente un léger relief, ce qui a pour effet d'augmenter la surface de contact et de créer un meilleur lien avec la peinture.

  Une surface trop lisse peut engendrer un manque d'adhérence et provoquer le décollement de la peinture. Cependant, un relief trop prononcé nécessite une plus grande quantité de peinture afin de recouvrir les crêtes du relief et pour recouvrir la surface, ce qui peut présenter des défauts liés à l'application : coulures, points de rouille, etc.

- **Adhérence chimique**

  Dans certains cas particuliers où l'on veut obtenir l'adhérence d'une peinture, il est possible d'utiliser un enduit aux résines vinyliques. Appliqué en une couche très mince, cet enduit sert de couche de liaison avant l'application de la couche de peinture suivante. Principalement employé dans le passé comme couche d'accrochage sur une surface fraichement galvanisée, l'enduit aux résines vinyliques est rarement utilisé aujourd'hui en raison de sa forte concentration en composés organiques volatils (VOC).

Principaux types de peintures anticorrosion

- **Peintures aux résines époxydiques**

  Ce sont des peintures à deux composants qui durcissent par réaction chimique entre une base époxydique et un durcisseur. Lors du mélange, le ratio entre les composants ainsi que le temps d'induction du mélange doivent satisfaire de façon rigoureuse aux exigences du fabricant. Ces peintures sont plus dures et généralement plus résistantes que les résines alkydes et elles sèchent à des températures plus basses. Lorsqu'elles sont appliquées en couche primaire, ces peintures nécessitent une bonne préparation de surface.

  Certaines peintures aux résines époxydiques contiennent des pigments d'oxyde de fer lamellaire ou des pigments d'aluminium pelliculant qui sont des inhibiteurs de corrosion. Ces peintures peuvent être appliquées en couche primaire sur des surfaces minimalement préparées ou en couche intermédiaire.

Caractéristiques :

- excellente résistance aux agents chimiques et aux solvants;
- excellente adhérence;
- très bonne résistance à l'abrasion;
- feuil très dur;
- durée de conservation en pot (pot life) limitée;
- tendance au farinage si utilisées en couche de finition.

– **Peintures aux résines polyuréthanes**

Ce sont des peintures caractérisées par un très bon brillant et une très bonne rétention de couleur. On distingue, entre autres, deux types de peintures aux résines polyuréthanes : les polyuréthanes à deux composants et les polyuréthanes à un composant hygroréactif.

Les résines polyuréthanes à deux composants tout comme les résines époxydiques durcissent par réaction chimique. Les polyuréthanes aromatiques jaunissent sous l'action de la lumière ; on n'utilise donc que des polyuréthanes aliphatiques en couche de finition. Les feuilles obtenus avec ces résines sont particulièrement résistants aux intempéries : très étanches et très lisses, ils retiennent très peu les salissures. De plus, ils ont une excellente résistance aux agents chimiques agressifs.

Les résines polyuréthanes à un composant hygroréactif réagissent uniquement avec l'humidité de l'air pour durcir.

Certaines peintures aux résines polyuréthanes contiennent des pigments d'oxyde de fer lamellaire ou des pigments d'aluminium pelliculant qui sont des inhibiteurs de corrosion. Ces peintures peuvent être appliquées en couche primaire sur des surfaces minimalement préparées, en couche intermédiaire ou en couche de finition.

Caractéristiques :

- excellente résistance aux agents chimiques;
- très sensible à l'humidité;
- excellente adhérence;
- très bonne résistance à l'abrasion;
- feuil très dur;
- durée de conservation en pot (pot life) limitée.

De nouvelles générations de peintures aux résines polyuréthanes sont parfois formulées, comme celles de types polyaspartiques, qui peuvent être appliquées en couches beaucoup plus épaisses.

– **Peintures riches en zinc**

Ces peintures à liant époxydique ou de polyuréthane (zinc organique) ou à liant éthyl silicate (zinc inorganique) ont des formulations qui exploitent les qualités intrinsèques du zinc par rapport à l'acier, permettant ainsi une protection cathodique. Cette action sacrificielle est d'autant meilleure que la proportion de poudre de zinc est élevée et que le liant est en faible quantité.

Ces peintures sont conçues pour être appliquées comme couche primaire sur des surfaces de métal nu. Pour obtenir une protection complète, ces peintures doivent être recouvertes par des peintures complémentaires.

Caractéristiques :

- nécessitent une préparation de surface très soignée;
- excellente protection contre la corrosion;
- bonne adhérence;
- excellente résistance à l'abrasion;
- sensibilité aux acides et aux alcalins;
- durcissement du feuil nécessite, dans certains cas, un minimum d'humidité.

– **Peintures à haute teneur en matières solides (*High Solids* ou HS)**

Les peintures à haute teneur en matières solides sont des peintures dont la proportion de solvant est très faible (moins de 25 % par rapport à plus de 50 % pour une peinture conventionnelle). L'extrait sec dans les liants est d'au moins 80 %. Ces peintures peuvent être appliquées sur des surfaces ayant subi une préparation manuelle ou sur des surfaces recouvertes de vieille peinture.

Certaines peintures contiennent des pigments d'oxyde de fer lamellaire ou des pigments d'aluminium pelliculant qui en améliorent les propriétés anticorrosion.

Caractéristiques :

- application possible sur des surfaces minimalement préparées;
- excellente résistance aux produits chimiques;
- excellente résistance à l'abrasion.

– **Peintures aux résines alkydes**

Ces peintures sont composées soit de résines alkydes dissoutes dans un solvant, soit d'un mélange d'huiles et de résines alkydes.

Caractéristiques :

- facilité d'application;
- bonne adhérence et bonne rétention de couleur;
- faible résistance aux agressions chimiques (acides, solvants, alcalins);
- séchage lent.

– **Peintures aux résines alkydes sulfonate de calcium**

Ces peintures contiennent du sulfonate de calcium pigmenté qui améliore la résistance à la corrosion.

Caractéristiques :

- application possible sur des surfaces minimalement préparées;
- facile d'application;
- bonne adhérence et bonne rétention de couleur;
- résistance limitée à l'eau salée et aux solvants;
- dureté du feuil : mou;
- séchage lent.

– **Peintures aux résines acryliques**

Ces peintures contiennent un liant polymère acrylique dispersé à l'eau et des pigments inhibiteurs de corrosion. Le séchage résulte de la coalescence des particules en émulsion à mesure que l'eau s'évapore du feuil, formant un feuil caoutchouteux.

Ces peintures doivent être protégées du gel.

Caractéristiques :

- application possible sur des surfaces minimalement préparées;
- excellente résistance aux produits chimiques;
- excellente résistance à l'abrasion et aux chocs;
- bonne adhérence;
- forment un revêtement très élastique;
- bonne résistance aux rayons ultraviolets.

- **Peintures en poudre**

  Ces peintures ne contiennent pas de solvant et se présentent sous forme de poudre. Deux types de poudres sont utilisés : les poudres thermoplastiques et les poudres thermodurcissables. Les poudres thermodurcissables sont les plus utilisées dans le domaine de l'anticorrosion (poudres époxydiques, polyesters, polyuréthanes). La formation du feuil s'effectue par fusion de particules sur le subjectile; c'est un procédé industriel réalisé uniquement dans des ateliers spécialisés. Ces revêtements doivent subir une cuisson (polymérisation) après application au pistolet électrostatique et nécessitent parfois un préchauffage des pièces.

  Caractéristiques :

  - excellente résistance à l'abrasion et aux chocs;
  - excellente résistance aux produits chimiques;
  - très bonne adhérence;
  - très bonne résistance aux rayons ultraviolets;
  - très bonne qualité en aspect (couleur, brillant, uniformité du feuil).

14.4.2 Assurance de la qualité

14.4.2.1 Homologation

Le choix d'un système de peintures doit faire l'objet d'une étude particulière dans laquelle les éléments suivants doivent être considérés :

- nature de l'ouvrage;
- durée de vie;
- degré de corrosion des surfaces;
- considérations environnementales;
- méthode d'application;
- délai de recouvrement;
- disponibilité;
- couleur.

Ce choix peut être spécifié dans les plans et devis, mais généralement, il est laissé à l'entrepreneur. Ce dernier doit cependant choisir un système de peintures homologué selon le programme d'homologation HOM 8010-104 du Ministère. Une liste des systèmes homologués se trouve dans le site Web du Ministère.

14.4.2.2 Attestation de conformité

Lorsque l'entrepreneur choisit un système de peintures parmi ceux apparaissant dans les listes d'homologation du Ministère, il doit remettre au surveillant pour chaque livraison de peinture au chantier, l'attestation de conformité mentionnée au CCDG. Le surveillant doit s'assurer que le fabricant de peinture, via l'entrepreneur, fournisse les informations exigées à l'article 15.14.4.2.2 du CCDG, lors de la remise de l'attestation de conformité du système de peintures. Lorsqu'un contrôle de réception est demandé, des résultats d'essais de caractérisation sont alors exigés afin de vérifier les caractéristiques des produits livrés au chantier, par rapport à celles des produits analysés lors de l'homologation. Le surveillant est alors en mesure de vérifier les résultats des essais en les comparants aux valeurs convenues entre le Ministère et le fabricant de peinture lors de l'homologation; ces dernières valeurs (valeurs à l'agrément) sont indiquées dans les listes d'homologation.

Pour les travaux de peinturage réalisés en usine, un contrôle de la qualité est normalement assuré par la DCQM du Ministère ou par l'un de ses prestataires de services. En cas de doute sur la qualité du revêtement, le surveillant doit communiquer avec cette Direction.

14.4.3 Mise en œuvre

14.4.3.1 Préparation des surfaces d'acier

Une bonne préparation de surface est indispensable pour obtenir une protection durable contre la corrosion d'une surface en acier. La réussite d'une opération de métallisation et peinturage ne consiste pas seulement à recouvrir une surface; il faut qu'il y ait avant tout une adhérence entre la surface et le revêtement. L'adhérence du revêtement a de grandes chances d'être déficiente sur toute surface contaminée par des huiles, de la graisse, de la calamine, de la rouille, des anciennes peintures, des sels ou des chlorures et si la surface ne présente pas un certain relief. Pour obtenir une bonne adhérence, il est nécessaire d'effectuer une préparation de surface adéquate qui consiste à :

- procéder à l'enlèvement de tout contaminant en surface;
- créer un profil d'accrochage.

Évaluation visuelle des degrés de rouille et de préparation

Les normes SSPC-VIS 1 « Visual Standard for Abrasive Blast Cleaning », SSPC-VIS 3 « Visual Standard for Power- and Hand-Tool Cleaning » et SSPC-VIS 4(I) / NACE N° 7 « Interim Guide and Visual Reference Photographs for Steel prepared by Water Jetting » illustrent au moyen de séries de photographies les degrés de rouille correspondant à l'état initial des surfaces avant le nettoyage ainsi que les différents degrés de préparation de surfaces correspondant aux types de soins.

Degrés de nettoyage

En Amérique du Nord, les normes les plus utilisées pour définir l'état initial des surfaces avant nettoyage et les types de soins en fonction des procédés de préparation de surfaces relèvent de deux organismes : la Society for Protective Coatings (SSPC) et la National Association of Corrosion Engineers (NACE).

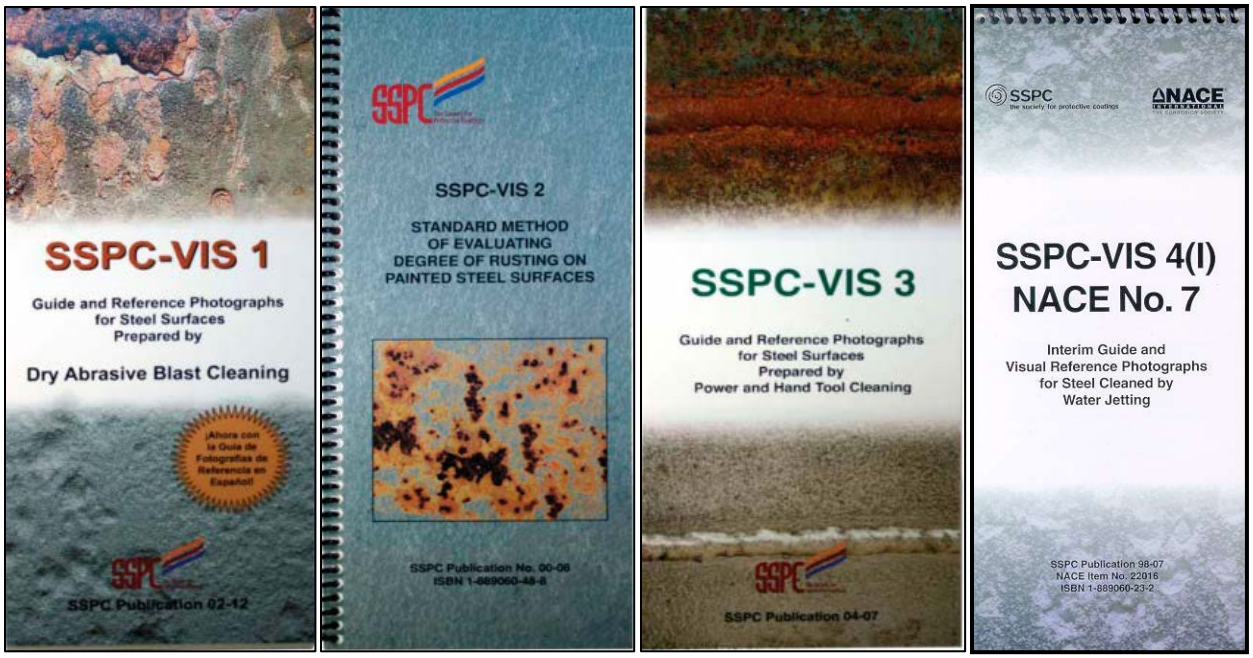


Figure 14.4.1 Documents des normes SSPC et NACE

Les photographies ne doivent être utilisées qu'à titre d'exemples et seulement pour compléter les descriptions écrites qui sont les seules conditions à respecter.

- **SSPC-VIS 1** : série de photographies pour acier nettoyé par projection d'abrasif selon divers degrés de corrosion initiaux. Elles couvrent les degrés de préparation SP-5 à SP-7.
- **SSPC-VIS 2** : outil d'évaluation du degré de corrosion utilisant une série d'illustrations montrant des surfaces d'acier partiellement recouvertes de peinture et corrodées.
- **SSPC-VIS 3** : série de photographies pour acier nettoyé manuellement ou mécaniquement selon le degré de corrosion initial. Les degrés de préparation visés par cette norme sont SP-2, 3 et 11.
- **SSPC-VIS 4 – NACE N° 7** : série de photographies pour acier nettoyé par projection d'eau sous pression et couvre les préparations WJ-1, 2, 3 et 4. Cette norme intègre aussi la définition d'oxydation rapide de surface (« flash rust ») à la suite du nettoyage à l'eau.

État initial des surfaces

L'obtention d'une préparation de surfaces minutieuse dépend de l'état initial des surfaces avant nettoyage. Il importe donc de pouvoir définir clairement cet état initial tant pour les surfaces d'acier nu que pour les surfaces déjà peinturées.

Pour les surfaces d'acier à nettoyer par projection d'abrasif, la norme SSPC-VIS 1 « Visual Standard for Abrasive Blast Cleaning » définit quatre degrés de rouille désignés par les lettres A, B, C et D.

- **Degré de rouille A** : Subjectile d'acier complètement recouvert de calamine adhérente; peu ou pas du tout de rouille.
- **Degré de rouille B** : Subjectile d'acier recouvert de calamine et de rouille.
- **Degré de rouille C** : Subjectile d'acier complètement recouvert de rouille; peu ou pratiquement pas de piqûres de rouille.
- **Degré de rouille D** : Subjectile d'acier complètement recouvert de rouille; piqûres de rouille visibles.

Pour les surfaces d'acier à nettoyer manuellement ou mécaniquement, la norme SSPC-VIS 3 « Visual Standard for Power- and Hand-Tool Cleaning » définit sept conditions de surface correspondant à des surfaces d'acier et désignées par les lettres A à G, et traitent des surfaces d'acier peinturées ou non.

- **Condition A :** Subjectile d'acier complètement recouvert de calamine adhérente; peu ou pas du tout de rouille.
- **Condition B** : Subjectile d'acier recouvert de calamine et de rouille.
- **Condition C** : Subjectile d'acier complètement recouvert de rouille; peu ou pratiquement pas de piqûres de rouille.
- **Condition D** : Subjectile d'acier complètement recouvert de rouille; piqûres de rouille visibles.
- **Condition E** : Surface d'acier déjà peinturée; peinture de couleur claire appliquée sur une surface nettoyée par projection d'abrasifs; peinture en grande partie intacte.
- **Condition F** : Surface d'acier déjà peinturée; peinture riche en zinc appliquée sur une surface nettoyée par projection d'abrasifs; peinture en grande partie intacte.
- **Condition G** : Surface d'acier déjà peinturée; système de peintures appliqué sur de l'acier calaminé; système complètement détérioré, complètement couvert de cloques ou complètement taché de rouille.

Pour les surfaces d'acier à nettoyer par projection d'eau sous pression, la norme SSPC-VIS 4(I) / NACE N° 7 « Guide and Visual Reference Photographs for Steel Cleaned by Water Jetting » définit deux degrés de rouille désignés par les lettres C et D.

- **Degré de rouille C** : Subjectile d'acier complètement recouvert de rouille; peu ou pratiquement pas de piqûres de rouille.
- **Degré de rouille D** : Subjectile d'acier complètement recouvert de rouille; piqûres de rouille visibles.

Types de soins

Afin d'obtenir une surface adéquate pour l'application du revêtement, il est nécessaire de préciser le degré de nettoyage attendu. Les normes SSPC et NACE définissent plusieurs types de soins à obtenir à l'aide de photos comparatives.

Le type de soin SSCP SP 4 est une préparation retirée depuis 1982 et consistait à un nettoyage à la flamme. Le SSPC SP 13 est utilisé pour la préparation des surfaces de béton. Le type de soin SSPC SP 9 a été retiré depuis 1971 et consistait à accélérer la détérioration de la surface et à procéder à un nettoyage agressif aux abrasifs. Le type de soin SSPC SP-16, qui est semblable au SP-7, correspond à une projection d'abrasif très léger. Il est cependant mieux adapté à la préparation des surfaces d'acier galvanisées afin d'améliorer leur profil d'accrochage, mais sans trop endommager la galvanisation.

PRÉPARATION MÉCANIQUE

- **SSPC-SP 1 « Nettoyage au solvant »**

  Enlèvement de toute trace visible d'huile, de graisse, de saletés, de souillures, de sels et d'autres contaminants solubles à l'aide de solvants, de nettoyeurs émulsionnés ou de vapeur avant l'application de peinture ou avant l'élimination de la calamine, de la rouille ou de la peinture.

- **SSPC-SP 2 « Préparation manuel »**

  Enlèvement de la calamine, de la rouille ou de la peinture détachables et de toute autre matière étrangère nuisible. La calamine, la rouille et la peinture qui adhèrent fermement à la surface peuvent être conservées.

  On entend par « fermement adhérent » ce qui ne peut pas être enlevé à l'aide d'un couteau à mastic non coupant.

- **SSPC-SP 3 « Préparation mécanique »**

  Enlèvement de la calamine, de la rouille ou de la peinture détachables et de toute autre matière étrangère nuisible. La calamine, la rouille et la peinture qui adhèrent fermement à la surface peuvent être conservées.

  On entend par « fermement adhérent » ce qui ne peut pas être enlevé à l'aide d'un couteau à mastic non coupant.

- **SSPC-SP 15 « Préparation mécanique – Degré commercial »**

  Examinée à l'œil nu, la surface doit être exempte de toute trace visible d'huile, de graisse, de saleté, de poussière, de calamine, de rouille, de peinture, d'oxydes, de produits de corrosion et d'autres matières étrangères, à l'exception de taches dispersées. Ces taches ne doivent pas dépasser 33 % de chaque superficie unitaire de 58 cm2 (9 po2) de la surface nettoyée et peuvent provenir de taches de rouille, de calamine ou d'ancienne peinture.

- **SSPC-SP 11 « Préparation mécanique au métal nu »**

  Examinée à l'œil nu, la surface doit être exempte de toute trace visible d'huile, de graisse, de saleté, de poussière, de calamine, de rouille, de peinture, d'oxydes, de produits de corrosion et d'autres matières étrangères. De faibles résidus de rouille ou d'ancienne peinture peuvent encore rester dans le fond des piqûres, si de telles piqûres existaient sur la surface d'origine avant le nettoyage.

<u>RÉPARATION PAR PROJECTION D'ABRASIF</u>

- **SSPC-SP 5 / NACE N° 1 « Métal à blanc »**

  Examinée à l'œil nu, la surface doit être exempte de toute trace visible d'huile, de graisse, de saleté, de poussière, de calamine, de rouille, de peinture, d'oxydes, de produits de corrosion et d'autres matières étrangères.

- **SSPC-SP 10 / NACE N° 2 « Métal presque à blanc »**

  Examinée à l'œil nu, la surface doit être exempte de toute trace visible d'huile, de graisse, de saleté, de poussière, de calamine, de rouille, de peinture, d'oxydes, de produits de corrosion et d'autres matières étrangères, à l'exception de taches dispersées. Ces taches, qui peuvent être de faibles ombres, rayures ou décolorations, ne doivent pas dépasser 5 % de chaque superficie unitaire d'environ 58 cm^2 (9 po^2) de la surface nettoyée et peuvent provenir de taches de rouille, de calamine ou d'ancienne peinture.

- **SSPC-SP 6 / NACE N° 3 « Degré commercial »**

  Examinée à l'œil nu, la surface doit être exempte de toute trace visible d'huile, de graisse, de saleté, de poussière, de calamine, de rouille, de peinture, d'oxydes, de produits de corrosion et d'autres matières étrangères, à l'exception de taches dispersées. Ces taches ne doivent pas dépasser 33 % de chaque superficie unitaire de 58 cm^2 (9 po^2) de la surface nettoyée et peuvent provenir de taches de rouille, de calamine ou d'ancienne peinture.

- **SSPC-SP 14 / NACE N° 8 « Degré industriel »**

  Examinée à l'œil nu, la surface doit être exempte de toute trace visible d'huile, de graisse, de poussière et de saleté. Des traces de calamine, de rouille et de résidus de peintures fermement adhérentes sont tolérées sur 10 % de chaque superficie unitaire de 58 cm^2 (9 po^2) de la surface nettoyée si ces traces sont uniformément réparties. Les traces de calamine, de rouille et de peinture sont considérées comme étant fermement adhérentes si elles ne peuvent pas être enlevées à l'aide d'un couteau à mastic non coupant. Des ombres, des rayures et des décolorations causées par des taches de rouille, de calamine et d'ancienne peinture peuvent être tolérées sur le reste de la surface.

- **SSPC-SP 7 / NACE N° 4 « Degré léger »**

  Examinée à l'œil nu, la surface doit être exempte de toute trace visible d'huile, de graisse, de saleté, de poussière ainsi que de calamine, de rouille et de peinture détachables. La calamine, la rouille et la peinture qui adhèrent fermement à la surface peuvent être conservées.

  On entend par « fermement adhérent » ce qui ne peut être pas enlevé à l'aide d'un couteau à mastic non coupant.

- **SSPC-SP 8 « Nettoyage chimique »**

  Procédé de nettoyage par réaction chimique, par électrolyse ou les deux. Lorsque l'on examine la surface sans l'aide de loupe, il devrait n'y avoir aucune trace de calamine ou de rouille.

PRÉPARATION PAR PROJECTION SOUS PRESSION

A) Conditions de surface pouvant être évaluées visuellement

- **SSPC/NACE WJ-1 : « au métal nu »**

  Examinée à l'œil nu, la surface doit être exempte de toute trace visible de rouille, de peinture, de calamine et d'autres matières étrangères; la surface doit avoir un fini métallique mat.

- **SSPC/NACE WJ-2 : « degré très soigné »**

  Examinée à l'œil nu, la surface doit être nettoyée jusqu'à un fini mat avec au moins 95 % de la surface exempte de tout résidu visible sur la surface d'origine avant le nettoyage; les 5 % restants ne doivent contenir que des taches dispersées de rouille, de peinture et d'autres matières étrangères.

- **SSPC/NACE WJ-3 : « degré soigné »**

  Examinée à l'œil nu, la surface doit être nettoyée jusqu'à un fini mat avec au moins 66 % de la surface exempte de tout résidu visible (à l'exception de la calamine); les 33 % restants ne doivent contenir que des taches dispersées de rouille, de peinture et d'autres matières étrangères sur la surface d'origine avant le nettoyage.

- **SSPC/NACE WJ-4 : « degré léger »**

  Examinée à l'œil nu, la surface doit être uniformément exempte de toute rouille, de calamine et de peinture détachable.

B) Conditions de surface en termes de contaminants chimiques non visuels

- **Degré NV-1 :** Après le nettoyage à l'eau, la surface doit être exempte de tout contaminant détectable, lorsque déterminé en utilisant un équipement de terrain d'une précision comparable à celle d'un équipement de laboratoire. Les contaminants considérés sont les chlorures hydrosolubles, les sels ferro-solubles et les sulfates.
- **Degré NV-2 :** Après le nettoyage à l'eau, la surface doit avoir moins de 7 $\mu g/cm^2$ de chlorures, moins de 10 $\mu g/cm^2$ d'ions ferreux solubles et moins de 17 $\mu g/cm^2$ de sulfates, après vérification par une analyse sur le terrain ou en laboratoire avec un équipement dont la précision permet des mesures reproductibles.
- **Degré NV-3** : Après le nettoyage à l'eau, la surface doit avoir moins de 50 $\mu g/cm^2$ de chlorures et de sulfates, après vérification par une analyse sur le terrain ou en laboratoire avec un équipement dont la précision permet des mesures reproductibles.

Pour ce qui est des contaminants, en plus des huiles, graisses et autres, notons le cas des chlorures et plus particulièrement dans le cas de travaux sur des ouvrages existants. Les résultats d'études portant sur la contamination des surfaces d'acier par les chlorures mentionnent qu'une teneur en chlorures sur les surfaces à peinturer de l'ordre de 30 à 50 $\mu g/cm^2$ représente un seuil critique et qu'une teneur inférieure à 7 $\mu g/cm^2$ est un niveau acceptable pour plusieurs types de peintures (riches en zinc, résines alkydes, résines époxydiques, etc.). Dans le cas où la concentration en chlorures est supérieure à cette concentration, les plans et devis exigent que la surface

d'acier soit nettoyée en utilisant un agent d'extraction de type « Chlor-Rid ». L'eau utilisée pour ce nettoyage ne doit pas contenir plus de 250 mg/L d'ions chlorure.

Procédés de préparation des surfaces

Dans le domaine des ponts, la préparation de surfaces d'acier s'effectue selon un ou plusieurs des procédés indiqués ci-dessous.

- **Préparation au solvant**

  Ce procédé consiste à enlever toute trace d'huile, de graisse et d'autres contaminants avant de poursuivre la préparation des surfaces. Le type de contaminant détermine le mode de nettoyage à utiliser : les solvants, les nettoyeurs émulsionnés ou la vapeur.

  Les solvants nettoient la surface d'acier en dissolvant les huiles et les graisses. Certains solvants peuvent dans certains cas dissoudre le liant de la peinture. Il importe donc d'effectuer un essuyage à l'aide d'un chiffon propre pour ne pas répandre les souillures sur une plus grande surface.

  Les nettoyeurs émulsionnés contiennent généralement des savons à base d'huiles solubles. Ils sont appliqués sous forme concentrée pour être ensuite émulsionnés avec de l'eau. Un lavage à grande eau et un dernier rinçage doivent être effectués pour enlever tout résidu.

  Le nettoyage à la vapeur s'effectue avec de la vapeur ou de l'eau chaude sous pression.

- **Préparation manuelle**

  Ce procédé consiste à enlever manuellement par brossage, ponçage ou grattage les couches de rouille stratifiées, la calamine, la rouille et la vieille peinture détachable.

  On effectue généralement un nettoyage manuel pour préparer des surfaces à retoucher. Cette méthode ne permet pas de créer de profil d'accrochage et d'obtenir une qualité de nettoyage suffisante pour appliquer des peintures conventionnelles. L'utilisation de peintures plus permissives (« surface tolerant coatings ») doit être envisagée.

- **Préparation mécanique**

  Ce procédé consiste à enlever par brossage, ponçage ou grattage à l'aide d'un outillage mécanique les couches de rouille stratifiées, la calamine, la rouille et la vieille peinture détachable.

L'outillage mécanique comprend une grande variété d'outils :

- rectifieuses « Grinders » et ponceuses « Sanders »;
- outils à percussion : marteaux piqueurs, pistolets à aiguilles;
- outils rotatifs à percussion : « Cutter Bundles », marteaux rotatifs, « Heavy Duty Rotary Flaps ».

Certains types d'outillage mécanique sont munis d'un système d'aspiration pour la récupération des poussières et des résidus de nettoyage.

– **Préparation par projection d'abrasif**

Ce procédé consiste à enlever la calamine, la rouille, la peinture et toutes autres substances étrangères par l'action de matières abrasives projetées à l'aide de buses. La préparation par projection d'abrasif est réalisée selon l'une des méthodes suivantes :

- par projection à sec en utilisant l'air comprimé, une buse et un abrasif sec;
- par projection à sec, en circuit fermé, en utilisant l'air comprimé, une buse et un système de recirculation d'abrasif avec ou sans aspiration pour la récupération des poussières et de l'abrasif;
- par projection humide en utilisant un mélange d'eau et de particules abrasives.

La préparation par projection d'abrasif permet, selon le type d'abrasif choisi, d'obtenir un profil d'accrochage favorisant l'adhérence mécanique des revêtements. Cependant, les surfaces préparées à l'acier nu s'oxydent rapidement et doivent être recouvertes le plus tôt possible.

Il faut s'assurer que les compresseurs utilisés pour la préparation par projection d'abrasif sont munis de purgeur à la sortie de façon à produire de l'air propre, sec et exempt d'huile afin de ne pas contaminer la surface à nettoyer. On peut vérifier la présence d'huile à la sortie du compresseur en effectuant l'essai décrit dans la norme ASTM D 4285 « Standard Test Method for Indicating Oil or Water in Compressed Air ». Cet essai consiste à projeter de l'air pendant une période minimale d'une minute sur un tissu absorbant ou une pellicule plastique, à une distance d'environ 600 mm et à vérifier visuellement la présence ou l'absence d'huile à la surface.

- **Préparation par projection d'eau sous pression**

  Ce procédé consiste à projeter de l'eau sous des pressions variant de basse à ultra-haute de façon à nettoyer ou décaper une surface à peinturer :

  - nettoyage à l'eau basse pression [Low-Pressure Water Cleaning (LP WC)] à des pressions inférieures à 34 MPa (5 000 psi);
  - nettoyage à l'eau haute pression [High-Pressure Water Cleaning (HP WC)] à des pressions allant de 34 à 70 MPa (5 000 à 10 000 psi);
  - décapage à l'eau haute pression [High-Pressure Water Jetting (HP WJ)] à des pressions allant de 70 à 210 MPa (10 000 à 30 000 psi);
  - décapage à l'eau ultra-haute pression [Ultrahigh-Pressure Water Jetting (UHP WJ)] à des pressions supérieures à 210 MP MPa A (30 000 psi).

  Selon la pression utilisée ce type de préparation est efficace pour éliminer les ions chlorures, les dépôts à la surface et les autres contaminants présents en surface. À plus haute pression, il permet d'enlever la plupart des vieux revêtements. Par contre, ce procédé ne produit pas un profil d'accrochage adéquat pour l'application des revêtements.

  On procède à un nettoyage à l'eau lors de travaux d'entretien, principalement lorsqu'un système de peintures doit être appliqué sur des surfaces minimalement préparées (élimination des particules non adhérentes) ou lorsque des abrasifs recyclables sont utilisés pour effectuer le nettoyage des surfaces. Les abrasifs recyclables peuvent s'auto-contaminer si les surfaces à nettoyer contiennent des chlorures; ces derniers contaminent les abrasifs qui à leur tour contaminent les surfaces.

Détermination de la teneur en ions chlorure et du pH

Il existe des méthodes et des équipements pour mesurer la contamination par les sels. La précision des résultats obtenus variera selon l'état des surfaces à évaluer et les précautions prises lors de la réalisation des essais.

Les deux techniques d'échantillonnage utilisées sur les chantiers sont la méthode du « tampon » (*swabbing method*) et la méthode de la « pochette » (*plastic patch method*).

Ces techniques sont surtout utilisées sur des surfaces métalliques non rouillées, c'est-à-dire pour déterminer les quantités résiduelles de sels après la préparation de surfaces par nettoyage.

Ces techniques peuvent également être utilisées sur des surfaces rouillées avant qu'elles soient décapées, mais l'efficacité d'extraction est considérablement diminuée en raison de la difficulté à enlever les sels qui s'accumulent à l'interface acier/feuil de corrosion. Dans ces circonstances, les deux méthodes fournissent des résultats qui

sont généralement sous-estimés par rapport aux concentrations réelles de sels présents sur les surfaces.

La méthode de la « pochette » offre une meilleure reproductibilité et une plus grande précision. Cette méthode a l'avantage d'avoir une aire d'essai très bien définie (ouverture de la pochette). Elle permet également de minimiser les pertes, souvent fréquentes et difficilement contrôlables avec la méthode du « tampon ».

- **Détermination des chlorures – Méthode du « tampon »**

  Cette méthode consiste à récupérer les chlorures en frottant sur la surface une boule de coton (ouate) imbibée d'eau distillée et à en déterminer la concentration en utilisant un indicateur de titrage pour chlorures. Lorsque l'indicateur est placé dans une solution aqueuse, le fluide monte sur le ruban par action capillaire. La réaction d'un produit chimique à l'intérieur de l'indicateur avec les chlorures produit une colonne blanche sur le ruban qui est proportionnelle à la concentration de chlorures.

  L'équipement requis pour effectuer des analyses de surface afin de détecter la présence de chlorures, de sels ferro-solubles ou de contaminants alcalins/acides peut se retrouver dans une seule trousse, telle que la trousse KTA SCAT®. La procédure est relativement simple. Tout d'abord, il faut délimiter une superficie d'échantillonnage de 100 cm^2, puis imbiber une boule de ouate d'eau déionisée que l'on frotte sur la surface à tester. Les boules sont ensuite rincées dans un contenant d'extraction et le taux de concentration est par la suite observé à l'aide d'un indicateur de titrage et d'une charte de titrage.

  La charte de titrage donne la concentration de chlorures en parties par million (PPM). Pour des solutions aqueuses, cette concentration est exprimée en µg/ml. La quantité d'ions extraits est obtenue en multipliant le PPM par le volume d'eau utilisée. Par exemple, si on utilise 20 ml d'eau et que la charte de calibrage donne 62 PPM comme lecture, alors 1240 µg de chlorure ont été extraits.

  En connaissant la surface qui a été frottée, la concentration peut ainsi être connue par simple division. Si, par exemple, dans le cas mentionné plus haut, une surface de 10 cm x 10 cm (100 cm^2) était utilisée, la concentration de chlorure serait 1240 µg/100 cm^2 ce qui donne 12,4 µg/cm^2.

  Si la teneur en chlorures de l'échantillon dépasse l'échelle de la charte, l'échantillon peut être dilué avant de faire la mesure; dans ce cas, multiplier le résultat obtenu par le facteur de dilution.

- **Détermination des ions chlorures – Méthode de la « pochette »**

  Cette méthode consiste à récupérer les chlorures à partir d'une pochette qui est collée sur la surface à tester. L'équipement requis se retrouve dans une trousse telle que CHLOR*TEST^{TM}.

  La procédure consiste à vider le contenu d'un échantillon de liquide d'extraction dans la pochette. Cette dernière est ensuite collée sur la surface à tester et la pochette est pincée de manière à mettre le liquide en contact avec la surface. Après un délai et un malaxage minimum, la pochette est décollée de la surface et le liquide est testé afin de déterminer la concentration d'ions chlorures.

  Il faut noter que cette méthode est plus difficilement réalisable sur le dessus des surfaces horizontales, puisqu'il est plus difficile de ramener le liquide dans le fond de la pochette lors de son décollement de la surface. Dans ce cas, le liquide d'extraction peut être ajouté après avoir collé la pochette sur la surface et retiré de cette dernière à l'aide d'une seringue.

- **Détermination du pH**

  Le pH est déterminé en trempant une bande de papier pH dans l'échantillon d'eau et en comparant la couleur obtenue à l'échelle de couleurs fournie avec la trousse. On peut également déterminer le pH d'une surface d'acier en plaçant un bout de papier pH sur la surface et en l'humidifiant avec une ou deux gouttes d'eau déionisée. Le pH de l'eau utilisée pour les essais doit évidemment être à 7 (pH neutre).

Abrasifs

La sélection appropriée de la grosseur et du type d'abrasifs sont parmi les plus importantes décisions qu'un entrepreneur peut prendre pour s'assurer d'une bonne performance d'un système de peintures.

Le terme « abrasif », dans l'expression « préparation par projection d'abrasif », réfère à une large gamme de matériaux qui sont utilisés pour créer un profil de surface sur de l'acier propre et pour enlever des peintures, de la rouille ou des contaminants sur des surfaces métalliques vieillies. En présence d'une grande quantité de produit de corrosion, il peut être profitable de débuter par un nettoyage mécanique avant la préparation par projection d'abrasif.

Dans l'industrie de la préparation des surfaces, le « sablage » ou « sandblast » a été l'expression d'origine pour décrire ce procédé d'enlèvement des peintures. Cette appellation vient de l'utilisation abondante de sable de silice comme matériau abrasif. C'est un matériau efficace, peu coûteux et très abondant. Le sable de silice produit de la silice cristalline qui est associée à des maladies pulmonaires, telles que la silicose et le cancer, et son utilisation en Amérique du Nord a fortement diminué. Il est interdit au Ministère depuis plusieurs années.

L'arrivée de plusieurs types de matériaux de nettoyage, a fait en sorte que l'expression plus générale « préparation par projection d'abrasif » est maintenant acceptée par tous les intervenants.

- **Caractéristiques des abrasifs**

  Les principaux paramètres caractérisant les abrasifs sont la forme et la dureté des grains, l'ouverture des mailles de tamis ainsi que la densité et la masse spécifique des matériaux.

  La forme des grains abrasifs peut être extrêmement angulaire jusqu'à très arrondie.

  La dureté est une mesure relative de la résistance des grains à l'abrasion par d'autres matériaux. Une échelle de dureté en termes de Mohs peut être utilisée pour classifier les abrasifs minéraux. La dureté des abrasifs métalliques est généralement mesurée selon le système Rockwell.

  La grenaille métallique angulaire (*steel grit*) a des valeurs Rockwell de 45 à 60, ce qui équivaut grossièrement à des valeurs Mohs de 6,0 à 6,5. La dureté des grains n'est pas une mesure directe de l'efficacité en tant qu'agent de nettoyage comme peut l'être la forme des grains. La dureté des grains caractérise plutôt la « durabilité » des grains et la possibilité de recyclage.

  Les abrasifs utilisés pour le nettoyage de l'acier doivent être exempts de contaminants pouvant causer la corrosion et ne doivent laisser aucun résidu incrusté dans la surface nettoyée.

  Les abrasifs peuvent être classifiés suivant la composition des matériaux et leur origine, et aussi selon l'endroit où ils sont fabriqués ou produits. En considérant ces paramètres, les abrasifs peuvent être regroupés en quatre catégories :

  - <u>Minéraux naturels</u>

    Les abrasifs pouvant se trouver dans cette catégorie sont le sable de silice, le zircon/staurolite, le grenat (garnet), l'olivine et l'hématite.

  - <u>Scories minérales</u>

    Les scories minérales sont des résidus provenant de fonderies industrielles. Chimiquement, les scories s'apparentent à du verre, enrichi de fer et d'autres métaux. Ce type d'abrasifs, plutôt fragile à l'impact, peut donc être générateur de poussières. En raison de leur provenance industrielle, les scories minérales peuvent contenir de petites quantités de métaux lourds ou d'éléments radioactifs.

    La principale scorie utilisée est celle de cuivre, puisque les fonderies sont nombreuses. Les autres scories utilisées sont celles de nickel, de fer et de charbon.

- Abrasifs métalliques

  Contrairement aux matériaux décrits jusqu'à maintenant, les abrasifs métalliques sont issus d'un processus de fabrication particulier destiné à en faire un matériau de nettoyage. Le choix du type d'abrasifs est en fonction de l'équipement, de la nature et de l'état des surfaces à nettoyer ainsi que des performances à obtenir. Les abrasifs métalliques sont conformes à la norme SAE J444 « Cast Shot and Grit Size Specifications for Peening and Cleaning ».

  Les abrasifs métalliques peuvent être en acier et en fonte. Ils sont disponibles sous forme de grenailles sphériques (*steel shot*) ou de grenailles angulaires (*steel grit*).Les grains d'acier peuvent être manufacturés selon des critères spécifiques en vue d'avoir des caractéristiques optimales pour le nettoyage, telles la dureté, la durabilité, des dimensions précises et une forme optimale.

  En raison de leur durabilité, les abrasifs en acier peuvent être recyclés plusieurs fois, avec une faible perte d'efficacité, réduisant ainsi la quantité de résidus provenant de la préparation des surfaces. Cependant, les coûts élevés qui leur sont associés font qu'ils ne sont utilisés que pour des projets d'envergure.

  Les grenailles sphériques (*shot*) sont rondes et elles le demeurent. Lors du nettoyage, elles rebondissent, ce qui accroît leur efficacité, mais elles ont tendance à marteler la surface et de ce fait à créer un profil de rugosité moins important que les grenailles angulaires.

  Les grenailles angulaires (*grit*) possèdent des arêtes vives et des formes irrégulières. Lors du nettoyage, les grenailles s'arrondissent, leurs angles s'émoussent, mais leur grande dureté et leur action de choc permettent d'obtenir une excellente préparation des surfaces.

  Les grenailles sont principalement employées en atelier pour préparer de l'acier neuf. Elles sont rarement utilisées lors de travaux de repeinturage en chantier pour préparer des surfaces corrodées.

- Autres abrasifs

  Parmi les autres abrasifs utilisés pour le nettoyage des surfaces d'acier, mentionnons le bicarbonate de soude, le verre broyé, les billes de plastique, la glace sèche (CO_2) ainsi que les matériaux organiques.

  Le bicarbonate de soude (soda) est un abrasif léger, hydrosoluble, efficace pour l'enlèvement de la graisse, des saletés et de la rouille non adhérente. Ce type d'abrasif est trop mou pour créer un profil de surface sur de l'acier neuf.

Les différents programmes de recyclage de verre sont à la base d'une industrie, mais en croissance dans le secteur des abrasifs. Le verre broyé est un matériau à faible contenu en silice libre qui se comporte un peu comme des scories. En raison de sa faible masse spécifique, l'efficacité de l'impact est moindre, mais un calibre de grain plus grossier permet d'obtenir une bonne performance.

Les billes de plastique et la glace sèche sont utilisées pour enlever des contaminants et des couches individuelles de peinture sans altérer ni augmenter la rugosité de surface du substrat. Les billes de plastique, de la taille des trous de bouton, peuvent produire de la poussière.

Les produits organiques, telles les écailles de noix, sont des matériaux utilisés pour enlever des saletés et de la graisse sans endommager la peinture ou le substrat sous-jacents.

Bien que certains types d'abrasifs puissent être réutilisés plus d'une fois, les abrasifs spéciaux ne sont généralement pas recyclables en raison de leur faible dureté.

Rugosité

La rugosité de la surface métallique est un facteur très important pour l'adhérence de la peinture et, par conséquent, pour sa longévité. Si la surface est trop lisse, la peinture y adhère plus difficilement. Par contre, il y a risque que les crêtes d'une surface trop rugueuse ne soient pas adéquatement protégées surtout lorsque la première couche de peinture est de faible épaisseur. Lorsque la préparation des surfaces est effectuée par projection d'abrasif, il faut se rappeler que la granulométrie, la dureté et l'angularité de l'abrasif sont des caractéristiques importantes qui peuvent affecter la rugosité de la surface métallique. Le choix du type de matériaux ou des outils est laissé à l'entrepreneur, mais le surveillant doit être en mesure de vérifier la qualité du nettoyage et de la rugosité.

La norme ASTM D 4417 « Standard Test Method for Field Measurement of Surface Profile Blast Cleaning » décrit trois méthodes pour mesurer la rugosité d'une surface métallique préparée par projection d'abrasifs.

- **Méthode A :** La surface préparée est comparée visuellement à des étalons préparés selon différents profils de rugosité. C'est la méthode la plus répandue. L'instrument utilisé pour déterminer la rugosité de surface est un comparateur de profils. Le comparateur est divisé en segments ayant un degré de rugosité différent. Il existe des disques de référence pour le sable (sand), la grenaille angulaire (grit) et la grenaille sphérique (shot). Le comparateur de profils s'utilise en centrant le disque de référence sur la surface d'acier à évaluer. À l'aide d'un doigt, la rugosité est comparée à celle du comparateur. Des chartes permettent de déterminer la rugosité.
- **Méthode B** : La profondeur du profil est mesurée en utilisant un mesureur de rugosité à aiguille et en effectuant une moyenne arithmétique d'un certain nombre de lectures. Cette méthode utilise un instrument de mesure permettant de mesurer la profondeur des rugosités. Au bout de l'instrument de lecture, une aiguille ayant une pointe standardisée de 60^{o} s'appuie au fond de la rugosité. La différence entre la pointe et le collet de l'instrument donne une lecture. Une série de lectures aléatoires permet de faire une moyenne. Ces instruments sont généralement électroniques.
- **Méthode C** : Un ruban de polyester compressible de 50 µm est pressé fermement sur la surface nettoyée afin de reproduire une image inversée du profil de rugosité. La hauteur du profil reproduit est alors mesurée à l'aide d'un micromètre. Le ruban sur lequel on reproduit le profil est facile à manipuler et a l'avantage de laisser une trace physique de l'état de la surface et peut être conservé dans un journal de chantier.

14.4.3.2 Peinturage

Un système de peintures est un ensemble de couches de peintures de propriétés différentes mais compatibles, dont chacune remplit un rôle spécifique dans la protection de l'acier contre la corrosion.

L'entrepreneur doit remettre au surveillant les fiches techniques de tous les produits qu'il prévoit utiliser. Aucun délai n'est précisé au CCDG, mais ces derniers doivent être remis dans un délai raisonnable, soit au minimum 24 à 48 heures avant les travaux pour que le surveillant puisse émettre ses commentaires.

Les systèmes homologués au Ministère sont composés de trois couches, soit les couches primaires, intermédiaires et de finition.

Couche primaire

La couche primaire permet de protéger le métal qu'elle recouvre avec un accrochage maximal. C'est la base d'un système de peintures qui permet de limiter la corrosion du métal en cas de dommages au système. Sa composition inclut des pigments inhibiteurs de corrosion, tels que le zinc et l'aluminium.

Couche intermédiaire

Elle a pour fonction d'assurer l'étanchéité de la couche primaire et de faire la transition pour la pose de la couche de finition. Dans certains cas de systèmes de peintures d'entretien, la couche intermédiaire est constituée de la même peinture que celle utilisée comme couche primaire.

Couche de finition

Puisqu'elle est directement exposée à l'environnement, la couche de finition doit être étanche et lisse. Cette dernière propriété lui permet d'éviter de retenir les salissures afin d'assurer la meilleure conservation du système (résistance aux intempéries, aux ultraviolets et aux agents chimiques agressifs). Jouant également un rôle esthétique, le brillant et la couleur du feuil de peinture sont des caractéristiques importantes pour la couche de finition.

- Brillant

  Les différentes concentrations pigmentaires permettent d'obtenir des peintures de finition avec divers degrés de brillant. Le brillant est la propriété que possède un revêtement à réfléchir la lumière comme un miroir.

  Les degrés de brillant sont qualifiés selon une valeur numérique que l'on mesure comme étant le pourcentage de réflexion d'une lumière incidente à 60^{o} par rapport à la surface à peinturer.

  Un degré de brillance entre 0 et 30 est considéré comme mat. Entre 30 et 80, il est qualifié de semi-brillant ou de satiné, tandis qu'une surface brillante ou lustrée a un degré de brillance au-delà de 80.

- Couleur

  Dans le cas des charpentes métalliques, il est d'usage au Ministère de spécifier quelques couleurs de peintures de finition de manière à obtenir une certaine uniformité, à faciliter les inspections ultérieures ou à obtenir un effet particulier. La nuance des couleurs correspond à des couleurs étalons qui sont définies dans la norme U.S. FED-STD 595B « Colors Used in Government Procurement ». Les couleurs sont spécifiées dans les plans et le devis spécial, et sont généralement les suivantes :

  - Vert n° 14109
  - Gris n° 16314
  - Brun n° 10045

  La couleur brune est principalement utilisée dans le cas où ce n'est pas la totalité de la charpente qui reçoit un revêtement de protection, comme c'est le cas pour l'acier atmosphérique.

Dans le cas où certaines parties de l'ouvrage sont galvanisées ou métallisées, la couleur grise peut être utilisée afin d'obtenir une apparence plus homogène. Elle peut être aussi utilisée dans les zones urbanisées afin de s'harmoniser avec la couleur du béton.

a) Délai d'application

Afin d'éliminer la problématique d'oxydation rapide de la surface (« flash rust »), le CCDG exige que la couche primaire soit appliquée dans un délai maximal de huit heures suivant la préparation de la surface. Pour la peinture d'entretien, dans des conditions de chantier, le délai d'application peut être aussi long que 24 heures, puisque ces systèmes sont beaucoup plus permissifs. Dans le cas de la métallisation, elle doit être débutée au maximum quatre heures suivant la préparation de la surface.

b) Conditions d'application

Parmi les conditions d'application, la plus déterminante est celle du point de rosée. Le CCDG ainsi que la majorité des fiches techniques des différentes peintures exigent au minimum que la surface à recouvrir soit au moins de 3^{o}C au-dessus du point de rosée. Certaines conditions peuvent être plus contraignantes, par conséquent le surveillant doit vérifier cette exigence sur la fiche technique du produit. Il faut savoir que si la surface à recouvrir est en-dessous du point de rosée, il y a début de condensation sur la surface et cela peut compromettre considérablement l'adhérence de la peinture.

Plus techniquement, le point de rosée correspond à la tension de vapeur à une température donnée. Concrètement, trois facteurs influencent la valeur du point de rosée, soit la température ambiante, le taux d'humidité et la température de l'objet. L'élément le plus déterminant pour le calcul du point de rosée est le pourcentage d'humidité.

À titre d'exemple, si la température de l'air ambiant est de 25 ^{o}C et l'humidité relative de 65 %, la température du point de rosée est de 18 ^{o}C. La température de la surface à recouvrir doit donc être d'au moins 21 ^{o}C (3 ^{o}C au-dessus du point de rosée) pour pouvoir appliquer la peinture.

Il est possible de déterminer le point de rosée en utilisant des méthodes basiques tel que le psychromètre fronde, un calculateur de point de rosée ou à l'aide des tables psychrométriques du US Department of Commerce Weather Bureau. Un équipement électronique calculant instantanément le point de rosée ainsi que la température est aujourd'hui d'usage courant.

c) Application

Toutes les peintures doivent être appliquées au pistolet sous pression. C'est le meilleur procédé d'application afin d'uniformiser le plus possible l'épaisseur du revêtement et de le faire rapidement. Dans le cas d'endroits difficiles d'accès ou sur les boulons, les arêtes vives, les coins, etc., il est requis d'appliquer le revêtement au pinceau. Puisque beaucoup de revêtements sont constitués de solides en suspension, tel que le zinc ou

l'aluminium, il est primordial que le produit soit mélangé continuellement afin d'éviter les dépôts et respecter la proportion de ces solides.

Dans le cas d'un ouvrage en acier neuf dont le peinturage est fait en usine, il est indiqué au CCDG que les surfaces de contact des pièces devant être assemblées par boulonnage doivent être uniquement recouvertes de la première couche du système de peinture ou ne doivent pas être peinturées, sauf sur une distance de 5 mm au pourtour des surfaces de contact. Dans le cas où la première couche du système de peinture est appliquée, la fiche technique de cette dernière doit clairement indiquer que le produit répond à la catégorie B pour le coefficient de friction. De plus, il doit être indiqué que le revêtement a été testé selon la méthode prescrite par le Research Council on Structural Connections (RCSC). Ces exigences sont nécessaires afin de ne pas réduire le coefficient de frottement des pièces en contact tout en scellant le bord des pièces contre l'entrée des contaminants.

Le CCDG exige que les surfaces apparentes des joints de chantier des poutres ainsi que les connexions des contreventements des ponts courbes ne soient recouvertes que de la couche primaire du système de protection. Cette exigence a été ajoutée au CCDG puisque dans certains cas, des épaisseurs très importantes de peinture jumelées à un manque de durcissement du revêtement, préalablement au serrage, causaient un fluage du système de peinture, à un point tel qu'il s'est produit un relâchement de la tension des boulons. Ce n'est qu'après le serrage complet de la connexion que les autres couches du système sont appliquées.

Dans le cas des semelles inférieures des poutres en acier peinturées, à souder aux appareils d'appui, le surveillant doit s'assurer que la préparation de surfaces par masquage a été adéquatement réalisée en usine, et que les soudures sont protégées au moyen de deux couches d'enduit riche en zinc, tel que décrit au CCDG.

d) Détermination de l'épaisseur

L'épaisseur du revêtement sur un acier mis à nu correspond à la distance comprise entre la surface extérieure du revêtement et la surface enveloppe passant par les crêtes du métal. En raison de la difficulté de matérialiser cette enveloppe, un seuil de validité de la mesure doit être défini en fonction de la rugosité de la surface.

- Vérification de l'épaisseur du feuil humide – Méthode destructive

  Bien que les épaisseurs exigées soient celles du feuil sec, il est beaucoup plus facile de mesurer le feuil humide. Il est donc recommandé de mesurer l'épaisseur de feuil frais de peinture durant l'application afin de s'assurer d'obtenir, au fur et à mesure de la progression des travaux, l'épaisseur éventuelle du feuil après séchage. De façon générale, cette tâche incombe au peintre qui effectue l'application, puisque cet essai est considéré comme « destructif ».

  La norme ASTM D 4414 « Standard Practice for Measuring of Wet Film Thickness by Notch Gages » décrit deux méthodes pour mesurer l'épaisseur du feuil humide. Les

deux méthodes utilisent des jauges à dents d'épaisseurs variables qui sont appliquées sur la peinture fraîche perpendiculairement au subjectile. Par la suite, on identifie la dernière dent recouverte de peinture. La valeur de l'épaisseur se situe entre la dernière dent recouverte de peinture et la première dent non recouverte. Bien que ce ne soit pas l'épaisseur exacte, la moyenne entre la hauteur de la dent recouverte de peinture et la suivante représente une approximation adéquate.

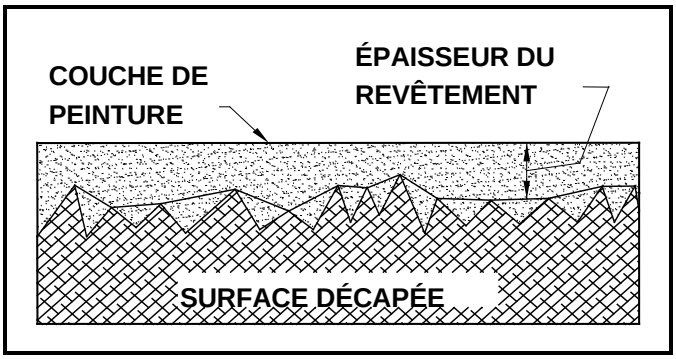


Figure 14.4.2 Définition de l'épaisseur du revêtement

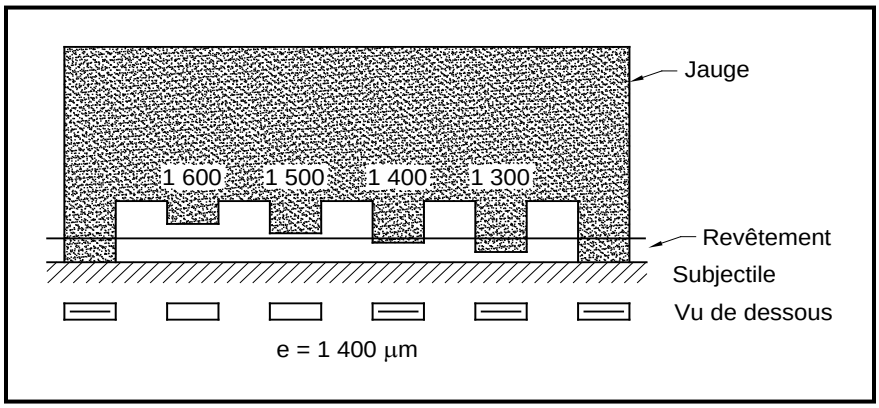


Figure 14.4.3 Exemple de jauge à dents

Si une jauge métallique est utilisée, elle doit être nettoyée après chaque lecture, au moyen d'un solvant. Les jauges en plastique ne sont pas réutilisables et doivent être rejetées après utilisation.

À partir de l'épaisseur de feuil sec spécifié, on peut calculer l'épaisseur de feuil humide correspondante si l'on connaît le pourcentage en volume de matières non volatiles de la peinture :

$$H = T \bullet \left(\frac{100 + D}{B} \right)$$

H : épaisseur du feuil frais (μm)

T : épaisseur spécifiée du feuil sec (μm)

D : pourcentage en volume de diluant ajouté, si nécessaire

B : pourcentage en volume de matières non volatiles du produit non dilué

– Vérification de l'épaisseur du feuil sec – Méthodes non destructives

Une fois que la peinture appliquée a bien séché, la surface devrait être inspectée pour vérifier l'épaisseur du feuil sec et d'autres paramètres du revêtement.

Il existe une grande variété de jauges magnétiques et de jauges électromagnétiques pour mesurer l'épaisseur de chaque couche de peinture après séchage.

La jauge magnétique appelée « jauge à rappel » fonctionne selon le principe que le flux magnétique entre un aimant et un subjectile magnétique varie suivant l'épaisseur de la couche non magnétique entre l'aimant et le subjectile. Cette couche non magnétique correspondant à l'épaisseur du feuil de peinture.

Bien que la jauge magnétique soit plus lente et moins polyvalente à utiliser et qu'elle nécessite de nombreux étalonnages et une bonne dextérité pour obtenir des résultats fiables, elle demeure un instrument facile à utiliser et pouvant servir à l'occasion à contre-vérifier certaines mesures.

La jauge électromagnétique appelée « jauge à sonde fixe » fonctionne selon le principe des courants de Foucault. La sonde émet une onde qui se propage jusqu'à la surface de l'acier et est réfléchie vers la sonde. L'appareil mesure la distance entre la sonde et le subjectile, distance correspondant à l'épaisseur de la peinture.

– Nombre et répartition des mesures

La norme SSPC-PA 2 définit également les exigences concernant le nombre et la répartition des points de mesure. Cette norme définit trois niveaux statistiques :

1. Une lecture d'instrument : Point précis de prise de lecture.

2. Une mesure locale : Moyenne de trois lectures d'instrument dans une zone d'environ 12 cm^2 (cercle de 4 cm de diamètre).

3. Un lot : Moyenne de cinq mesures locales réparties au hasard sur une superficie de 10 m^2.

Cette norme définit également la manière d'établir la moyenne représentative de l'épaisseur de revêtement. Pour une poutre de pont, des moyennes représentatives sont données pour chacune des semelles ainsi que pour l'âme de chacune des poutres. La figure 14.4.4 illustre les différents cas de superficie à mesurer.

- Pour des ouvrages dont la superficie est inférieure à 30 m^2, des mesures sont prises sur chaque lot de 10 m^2.
- Pour des ouvrages dont la superficie varie de 30 m^2 à 100 m^2, des mesures sont prises sur trois lots de 10 m^2, dispersés et choisis au hasard.
- Lorsque la superficie est plus grande que 100 m^2, des mesures sont prises :
  - sur trois (3) lots dispersés de 10 m^2 choisis au hasard sur les premiers 100 m^2 et ;
  - sur un lot de 10 m^2 sur chaque 100 m^2 additionnel.

Tous les lots doivent être choisis au hasard sauf pour les superficies inférieures à 30 m². Bien que les lots de 10 m² soient représentés par des surfaces carrées, ces aires peuvent être dans les faits des formes rectangulaires ou irrégulières.

D'autres quantités et répartitions de mesures peuvent être spécifiées au devis ou acceptées par les intervenants pour tenir compte des configurations particulières de certaines structures.

– Tolérances des mesures d'épaisseur

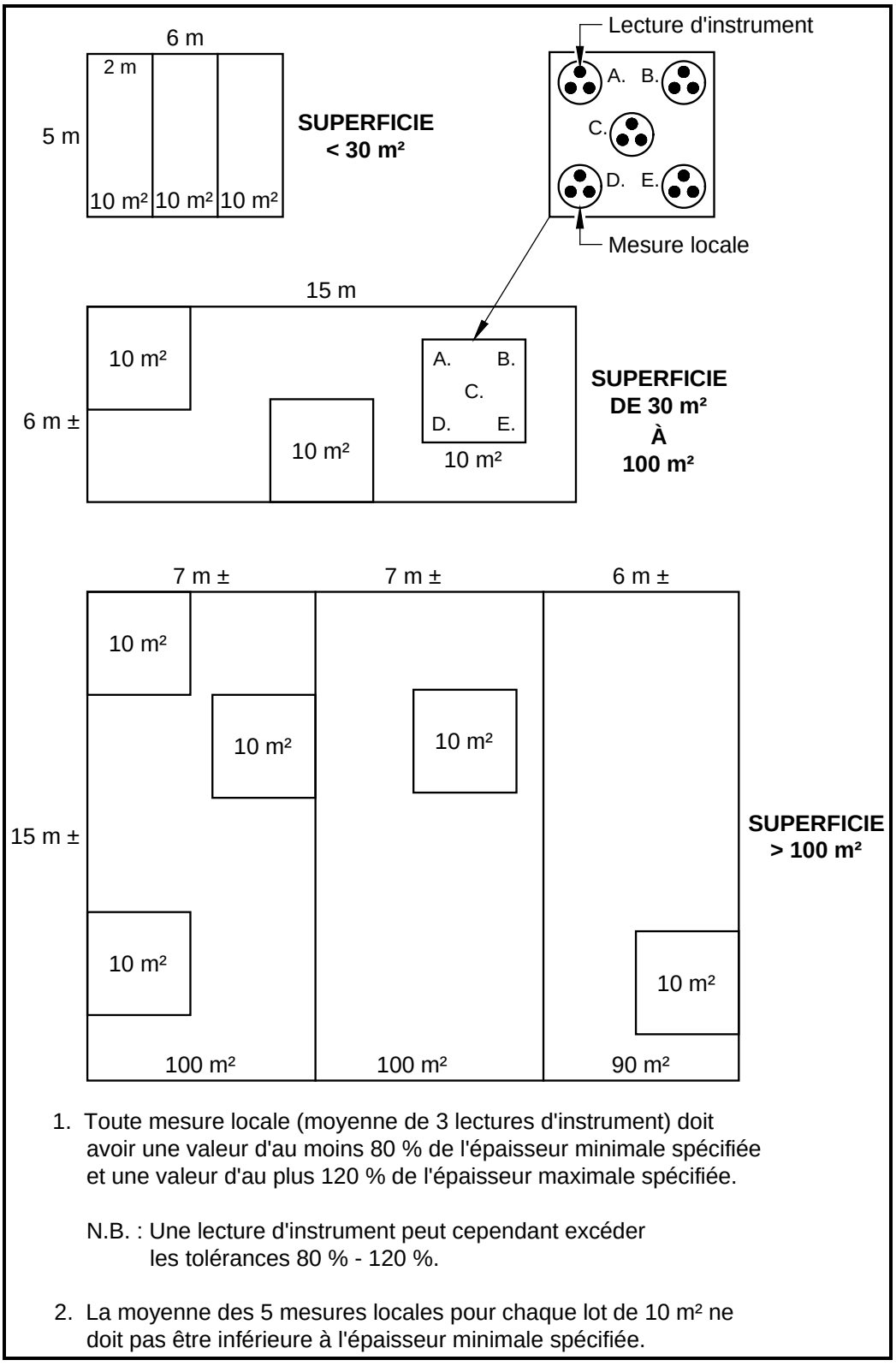
La norme SSPC-PA 2 établit des tolérances relatives aux épaisseurs minimales et maximales spécifiées pour les revêtements.

Toute mesure locale (moyenne de trois lectures d'instrument) doit avoir une valeur d'au moins 80 % de l'épaisseur minimale spécifiée et une valeur d'au plus 120 % de l'épaisseur maximale spécifiée.

N. B. : Une lecture d'instrument peut cependant excéder les tolérances 80 – 120 %.

La moyenne des cinq mesures locales pour chaque lot de 10 m² ne doit pas être inférieure à l'épaisseur minimale spécifiée. Si la moyenne des cinq mesures locales pour un lot donné est conforme aux exigences mais qu'une de ces mesures locales est inférieure à 80 % de l'épaisseur minimale spécifiée, des mesures additionnelles peuvent être effectuées pour définir la zone qui est non-conforme. Des actions concertées peuvent être élaborées par les intervenants pour corriger ces non-conformités.

Si aucune épaisseur maximale n'est spécifiée aux plans, aux devis et au CCDG, seules les tolérances relatives à l'épaisseur minimale et maximale présentées aux fiches techniques sont considérées.



1. Toute mesure locale (moyenne de 3 lectures d'instrument) doit avoir une valeur d'au moins 80 % de l'épaisseur minimale spécifiée et une valeur d'au plus 120 % de l'épaisseur maximale spécifiée.

   N.B. : Une lecture d'instrument peut cependant excéder les tolérances 80 % - 120 %.

2. La moyenne des 5 mesures locales pour chaque lot de 10 m² ne doit pas être inférieure à l'épaisseur minimale spécifiée.

Figure 14.4.4 Exigences d'échantillonnage des revêtements

- Vérification de l'épaisseur du feuil sec – Méthode destructive

  La mesure directe de l'épaisseur totale d'un revêtement ou de chacune des couches de peintures d'un système multicouche peut être effectuée par examen microscopique en utilisant un instrument appelé Tooke Gage. Le principe consiste à faire une incision en V à travers un feuil de peinture jusqu'au substrat. Cette rainure en V est observée verticalement avec un microscope à éclairage muni d'un réticule de mesure. La norme ASTM D 4138 « Measurement of Dry Film Thickness of Protective Coating Systems by Destructive Means (Test Method A) » définit les critères de mesurage par examen microscopique.

  Bien qu'elle ait l'inconvénient d'être destructive, elle est de loin la plus précise, puisqu'elle permet de mesurer visuellement l'épaisseur exacte de tous les revêtements.

  On utilise généralement ce type d'instrument pour examiner un vieux revêtement ou pour vérifier l'épaisseur d'une peinture d'entretien appliquée sur un système de peinture existant. Étant une méthode de mesure destructive, car le substrat se retrouve à nu, on doit l'utiliser de façon restreinte et effectuer des retouches sur les surfaces endommagées.

e) Adhérence

La vérification de l'adhérence du revêtement de peinture se fait inévitablement de manière destructive. Ceci est réalisé en effectuant l'essai de la norme ASTM D3359 « Standard Test Methods for Rating Adhesion by Tape Test ». Ce test est communément appelé le « X-Cut test » puisqu'il consiste à effectuer une entaille en forme de « X » à l'aide d'un objet coupant et ce jusqu'au métal de support. Par la suite, un ruban adhésif est appliqué fermement sur cette incision et, après environ 90 secondes, ce dernier est enlevé. Le niveau de revêtement arraché caractérise alors le niveau d'adhérence selon les critères suivants :

- 5A : aucun décollement ni écaillage.
- 4A : légères traces de décollement le long des incisions.
- 3A : décollement ou écaillage dentelé jusqu'à 1,5 mm de largeur le long de l'une ou l'autre des incisions.
- 2A : décollement ou écaillage dentelé jusqu'à 3,0 mm de largeur le long de l'une ou l'autre des incisions.
- 1A : décollement de la majeure partie du revêtement sous le ruban.
- 0A : décollement du revêtement au-delà de la superficie du ruban.

Le CCDG exige que l'adhérence soit minimalement de catégorie 3A.

PHOTOGRAPHIES

PEINTURAGE DES SURFACES D'ACIER



Extérieur – enceinte de confinement



Intérieur – enceinte de confinement



Nettoyage des abrasifs utilisés avec aspirateur



Équipement de dépoussiérage et de pression négative



Badigeonnage de boulons



Contenants de résidus considérés comme matières dangereuses

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 14 – GALVANISATION, MÉTALLISATION ET PEINTURAGE

MESURES DE PROTECTION ENVIRONNEMENTALE

- Pour les travaux exécutés au chantier (métallisation et peinturage)
- Mise en œuvre
  - L'entrepreneur doit fournir un plan décrivant les différentes étapes prévues
  - L'entrepreneur doit fournir un plan d'ouvrage provisoire (enceinte de confinement)
  - Avis écrit signé par un ingénieur ayant inspecté lui-même l'enceinte de confinement (après la construction ou après toute modification)
  - Travaux suspendus du 1er novembre au 30 avril
- Enceintes de confinement
  - Si confinement total demandé au devis spécial : système de pression négative à prévoir
  - Doivent être étanches
  - Éclairage de 300 lux minimum
  - Si vents trop élevés pour confiner les résidus : arrêter les travaux
  - Nettoyer (aspirateur) l'intérieur de l'enceinte avant son déplacement ou démantèlement ainsi qu'avant de procéder à la métallisation ou au peinturage
- Gestion des résidus
  - Résidus récupérés dans des contenants fermés hermétiquement au chantier
  - Résidus caractérisés comme matières dangereuses : à expédier dans un centre autorisé par le Ministère responsable de l'environnement
  - Résidus caractérisés comme déchets solides : à expédier dans un centre autorisé par le Ministère responsable de l'environnement

GALVANISATION

- Ne s'applique pas aux produits disponibles déjà galvanisés sur tablettes (voir le CCDG)
- Galvanisation à chaud
  - Épaisseur minimale :
  - Charpentes métalliques; 130 µm sauf si indiqué autrement au devis technique.
  - Selon la norme ASTM A123/A123M, 87 µm pour les barres d'armature et 50 µm pour les accessoires de coffrages.
- Surfaces de contact poutres-appareils d'appui : meulées à l'usine et soudures recouvertes d'un enduit riche en zinc au chantier
- Aviser au besoin la DCQM du Ministère (via le chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) afin de s'assurer d'avoir un contrôle de qualité pour une galvanisation de pièces d'acier à l'usine
- S'assurer de la bonne manutention des pièces galvanisées et vérifier leur mode d'entreposage
- Informer la DCQM du Ministère (via le chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) de toute anomalie relative aux surfaces galvanisées (rouille blanche ou

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

endommagement)

- Attestation de conformité à fournir
- Armature : se référer à la partie 4.3.3 « Armature » du chapitre 4 de ce manuel
- S'assurer que les surfaces endommagées sont réparées selon les exigences du CCDG
  - Dommage dont la largeur n'excède pas 2,5 cm ou si la superficie totale endommagée est inférieure à 0,5 % de la surface de l'élément : enduit riche en zinc

    → Voir le texte dans ce chapitre pour liste des produits
  - Dommage d'une superficie supérieure aux critères mentionnés ci-dessous : métallisation ou reprise de galvanisation

MÉTALLISATION

- Surfaces de contact pour assemblages boulonnés : métallisées ou non métallisées sauf 5 mm au pourtour
- Surfaces de contact poutres-appareils d'appui : masquées à l'usine et soudures recouvertes d'un enduit riche en zinc au chantier
- Communiquer avec la DCQM du Ministère (via le chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) en cas de doute sur la qualité du revêtement
- S'assurer que les surfaces endommagées sont réparées selon les exigences du CCDG
  - Dommage dont la largeur n'excède pas 2,5 cm ou si la superficie totale endommagée est inférieure à 0,5 % de la surface de l'élément : enduit riche en zinc

    → Voir le texte dans ce chapitre pour liste des produits
  - Dommage d'une superficie supérieure aux critères mentionnés ci-dessous : métallisation

PEINTURAGE DES SURFACES D'ACIER

- L'assurance de la qualité doit être faite selon les prescriptions du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport*
- Système de peintures homologué par le Ministère → voir le site Internet du Ministère
- Attestation de conformité à fournir pour chaque livraison de peinture au chantier
- En usine
  - Surfaces de contact pour assemblages boulonnés : peinturées avec revêtement de classe B non peinturées, sauf 5 mm au pourtour
  - Surfaces de contact poutres-appareils d'appui : masquées à l'usine et soudures recouvertes d'un enduit riche en zinc au chantier
  - Communiquer avec la DCQM du Ministère (via le chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services) en cas de doute sur la qualité du revêtement appliqué en usine
  - S'assurer que les surfaces endommagées sont réparées de façon appropriée : voir le CCDG
- En chantier
  - Le surveillant doit se référer au Guide de peinturage des charpentes métalliques
  - Encapsulage

    → Pour surfaces existantes peu dégradées lorsque demandé au devis spécial

CHAPITRE 15

DISPOSITIONS DIVERSES

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION **15-1**

GÉNÉRALITÉS **15-1**

15.1 ÉQUIPEMENT D'ACCÈS MOTORISÉ **15-3**

AIDE-MÉMOIRE **15-5**

INTRODUCTION

Ce chapitre traite des dispositions qui apparaissaient auparavant aux articles « Exigences générales » et « Équipement d'accès » du devis spécial.

Les dispositions qui découlent de l'article « Exigences générales » sont un regroupement de notions hétéroclites qui s'appliquent à plus d'une sous-section de la section 15 « Ouvrages d'art » du CCDG. Plutôt que d'écrire les notions à plusieurs endroits différents dans la section 15 du CCDG, il a été jugé préférable de ne l'inscrire qu'une seule fois dans la sous-section 15.15 « Dispositions diverses »; cette façon de faire permet en plus de couvrir les cas difficilement prévisibles.

Les dispositions qui découlent de l'article « Équipement d'accès » ne pouvaient, quant à elles, faire partie de l'une ou l'autre des sous-sections de la section 15 du CCDG parce qu'elles concernent le pont ou le tablier une fois construit, soit seulement après la réalisation des activités de l'ensemble ou presque des sous-sections de cette section.

GÉNÉRALITÉS

Reprenons brièvement chacune des notions incluses au début de l'article 15.15 du CCDG.

Le premier paragraphe concerne surtout le remplacement de pièces existantes, notamment des pièces d'un ouvrage en acier ou d'un dispositif de retenue ou encore le remplacement d'un joint de tablier. Il concerne aussi les dimensions des éléments existants qui apparaissent aux plans. Le but de cette notion est d'avertir l'entrepreneur de ne pas se fier aux dimensions indiquées aux plans des pièces à remplacer, ou à celles des ouvrages existants qui pourraient avoir un impact sur ces pièces, avant de procéder à la fabrication. L'entrepreneur doit donc procéder à ses propres mesurages et le surveillant devrait non seulement informer l'entrepreneur de ses obligations à ce chapitre, mais aussi s'assurer de connaître les dimensions réelles avant que l'entrepreneur procède à la fabrication. De plus, le surveillant devrait aussi s'en référer au concepteur des plans et devis pour tout changement d'importance qui pourrait avoir un impact sur la suite des travaux.

Le deuxième paragraphe vise l'emploi de toiles ou autres éléments afin de protéger les usagers de la route (automobilistes, cyclistes ou piétons) lors de différents travaux pouvant mener à la projection de débris.

Les troisième et quatrième paragraphes concernent les produits manufacturés fournis par l'entrepreneur, notamment au niveau de l'entreposage, de la date limite d'utilisation, de la fourniture de la fiche technique (au moins 14 jours avant utilisation, mises en garde sur l'utilisation du produit, etc.), de la primauté des plans et devis sur la fiche technique et de l'utilisation de contenants gradués pour les matériaux à plusieurs composants. Ces notions sont évidemment importantes compte tenu du nombre élevé

de produits utilisés dans les ouvrages d'art. Inutile de rappeler qu'un bon produit mal entreposé, ou de fabrication de longue date ou mal utilisé ne vaut pas plus qu'un produit médiocre bien entreposé, de fabrication récente et bien utilisé.

Le cinquième paragraphe fait intervenir pour l'ensemble des travaux les limites de vibration établies à l'article 11.4.4.1.1 du CCDG pour les travaux à l'explosif. Les principales exigences de cet article sont de limiter les vibrations sur le béton frais à 5 mm/s pour une période de 24 heures suivant le bétonnage, puis à 25 mm/s pour une période de 48 heures suivant cette dernière. Précisons que les travaux interdits à moins de 30 m du béton frais, énoncés dans la partie « cure du béton » de la section 15 (15.4.3.5.9) du CCDG continuent de s'appliquer; la limitation des vibrations s'appliquera plutôt aux travaux et aux causes qui ne sont pas mentionnés dans cette section, comme, par exemple, la circulation à proximité du béton frais.

Le sixième paragraphe concerne l'enlèvement des accumulations de débris sur une dalle avant de procéder au nettoyage au jet d'air afin de réduire l'émission de particules dans l'air et dans l'eau. Bien que le gros bon sens dicterait de procéder ainsi, il faut parfois avoir recours à ce texte pour que les choses se fassent correctement.

Le septième paragraphe vise à éviter de souiller les surfaces de béton avec des matières huileuses ou autres provenant des équipements. Le béton est un matériau poreux et, si des hydrocarbures ou d'autres contaminants s'y retrouvent, ils seront absorbés dans la masse du béton et seront par la suite à peu près impossible à retirer efficacement. Il faut donc placer les petits équipements dans des bacs ou des bassins pour éviter les fuites d'huiles ou les fuites lors des remplissages en pétrole. Les plus gros équipements devraient, quant à eux, être disposés sur des bâches.

Le huitième paragraphe est un renvoi à la section 15.4.3 pour la façon de s'y prendre pour fixer des coffrages ou autres éléments au béton pourvu que ce soit autorisé par le surveillant. Le surveillant se doit d'être proactif et de s'informer auprès de l'entrepreneur, dans le cadre formel d'une réunion de chantier par exemple, sur ses intentions à ce chapitre. Bien des entrepreneurs n'ont pas conscience des dommages qu'ils peuvent causer à un ouvrage d'art pour fixer un quelconque ouvrage provisoire au béton, le plus dommageable de tous étant la coupe de barres d'armature d'importance.

Ces exigences de fixation d'ancrages se retrouvent à la section 15.4 du CCDG concernant le béton car elles s'appliquent surtout aux travaux exigeant la mise en place de béton. Une référence est toutefois placée dans la section 15.15 car ces exigences doivent s'appliquer à tous les travaux, notamment la fixation de coffrages de glissières, la fixation de plates-formes de travail pour travaux de béton projeté ou travaux de charpente métallique, de peinture, etc.

Le neuvième paragraphe concerne l'interdiction de réaliser des soudures permanentes ou temporaires sur des pièces métalliques de l'ouvrage, à moins que ces soudures apparaissent aux plans. Cette interdiction peut sembler aller de soi, mais il arrive parfois qu'elle soit transgressée non pas par mauvaise volonté, mais plutôt par ignorance des dommages causés. Encore une fois, le surveillant se doit d'être proactif et attirer

l'attention de l'entrepreneur sur ses responsabilités dès le début du contrat. Si jamais une soudure non autorisée était réalisée, le surveillant doit traiter le cas avec le plus grand soin, car il peut arriver que des conséquences structurales très importantes en découlent, notamment l'amorce de fissures; les spécialistes en métallurgie de la Direction générale du laboratoire des chaussées du Ministère devraient être consultés au besoin (via le chargé d'activité du Ministère pour un surveillant employé par un prestataire de services).

L'avant dernier et le dernier paragraphe visent à mettre en place des éléments de drainage temporaires ou des garnitures temporaires sur les joints pendant la période hivernale, afin de s'assurer que les eaux de drainage chargées de chlorures ne se déversent pas sur l'ouvrage neuf. Ces exigences s'appliquent lorsque la portion de route correspondante est ouverte au trafic routier. Si celle-ci ne l'est pas, comme il n'y a pas d'utilisation de sels de déglaçage, il n'est pas nécessaire de faire installer de tels dispositifs temporaires.

Le CCDG laisse le soin au surveillant de déterminer à quel endroit seront déversées les eaux de drainage de façon temporaire. Celles-ci doivent être dirigées le plus loin possible des ouvrages, selon une orientation qui permet d'éviter les éclaboussures sur la structure et qui ne nuira pas aux opérations d'entretien hivernal des routes sous-jacentes s'il y a lieu. Le surveillant peut consulter le chargé d'activité du Ministère en cas de doutes quant à l'endroit où devrait être dirigées ces eaux.

15.1 ÉQUIPEMENT D'ACCÈS MOTORISÉ

Dans le cas de la construction d'un pont ou d'un tablier neuf, l'entrepreneur doit fournir un équipement d'accès motorisé pour permettre aux inspecteurs du Ministère, chargés d'inspecter l'ensemble des ouvrages du Ministère, de procéder à une première inspection générale avant que l'entrepreneur ne quitte les lieux. Il sera évidemment plus facile de faire corriger les déficiences décelées par le Ministère si l'entrepreneur n'a pas encore procédé à la démobilisation de son chantier. L'équipement d'accès n'est évidemment pas requis si l'ouvrage est de peu d'envergure ou de faible hauteur et qu'il est possible de procéder à l'inspection sans équipement; dans ce cas, il est probable qu'aucun article n'apparaît au bordereau. Par contre, si aucun article n'apparaît au bordereau pour l'équipement d'accès et que ce dernier serait nécessaire, le surveillant, après discussion avec le concepteur et le Ministère, devrait en négocier le prix avec l'entrepreneur.

Mentionnons que l'équipement d'accès doit aussi servir à l'inspection et la réception des travaux par le surveillant, ce qu'il pourrait difficilement faire de façon sérieuse sans cet équipement. L'inspection générale par le Ministère et la réception des travaux par le surveillant se font donc en même temps sur le même équipement.

Le surveillant doit coordonner l'inspection générale par le Ministère et sa réception des travaux de façon à assurer une transition harmonieuse de l'ouvrage de la surveillance au processus d'inspection du propriétaire de l'ouvrage. De plus, l'utilisation d'un

équipement d'accès permet au surveillant d'inspecter l'ouvrage de façon rapprochée, le doigt sur la pièce. Les observations faites par le personnel du Ministère dans le cadre de la première inspection générale sont transmises au surveillant par l'intermédiaire du gérant de projet du Ministère. Le surveillant doit évidemment en tenir compte dans ses démarches de réception des travaux auprès de l'entrepreneur.

Dès la réception de l'avis de l'entrepreneur relatif à la fin des travaux, le surveillant doit aviser le gérant de projet du Ministère de la date de l'inspection des travaux, dans le cadre de la réception de ceux-ci, afin que le gérant de projet puisse y participer et planifier la première inspection générale de l'ouvrage avec les responsables de l'inspection des structures de la direction générale territoriale du Ministère concernée.

L'équipement d'accès doit permettre d'atteindre toutes les surfaces des différentes parties du pont, soit en procédant d'un seul côté du pont, soit en procédant des deux côtés du pont selon les obstacles présents sur le site. Cette exigence du CCDG est renforcée par les indications de l'article « Exigences générales » du devis spécial quant au modèle d'équipement à utiliser. En effet, le concepteur indique normalement au devis les caractéristiques d'un équipement de type passerelle de largeur correspondant à celle de l'ouvrage à inspecter. Mentionnons qu'un équipement de type passerelle est souvent indiqué au devis spécial, car il est possible avec ce genre d'équipement que tous les intervenants y prennent place en même temps.

La durée de l'utilisation de l'équipement (trois heures par travée) mentionnée au CCDG est à titre indicatif et sert surtout à l'entrepreneur pour estimer ses coûts. Le délai minimal de deux semaines mentionné au CCDG entre la réception de l'avis de fin de travaux de l'entrepreneur et celui du surveillant annonçant la date de l'inspection est nécessaire pour permettre d'une part à l'entrepreneur de louer l'équipement en temps voulu et d'autre part au personnel du Ministère de se libérer pour cette date. Le surveillant devrait en discuter avec les intervenants avant de fixer la date de l'inspection.

Les exigences du CCDG relatives à la sécurité de l'équipement d'accès et aux compétences de l'opérateur sont à prendre au sérieux par tous les intervenants, y compris par le surveillant. Ce dernier ne doit pas hésiter à refuser un équipement qui lui semble défectueux compte tenu des conséquences sur la sécurité des personnes.

Lorsque des travaux inacceptables ont été décelés lors de l'inspection, par le Ministère ou par le surveillant, ce dernier ne doit pas hésiter, s'il le juge à propos, de demander à l'entrepreneur de fournir à nouveau l'équipement d'accès pour lui permettre d'inspecter les corrections apportées par l'entrepreneur. Si après discussion avec le gérant de projet du Ministère, ces corrections ont un impact important sur les résultats de l'inspection générale, ces représentants devraient être invités lors de cette nouvelle inspection.

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 15 – DISPOSITIONS DIVERSES

GÉNÉRALITÉS

- Travaux de réparation : l'entrepreneur doit s'assurer que les dimensions des éléments apparaissant aux plans sont exactes et qu'ils correspondent aux conditions du chantier
- Utilisation de bâches ou abris lorsque les travaux risquent de projeter des débris sur les usagers de la route
- Matériaux et fiches techniques
  - Fiches techniques à obtenir au moins 14 jours avant utilisation
    - → Entreposage conforme
    - → Date limite d'utilisation non dépassée
    - → Fiches techniques à respecter sauf indications contraires dans les plans et devis
  - Matériaux à plus d'un composant : utiliser des contenants gradués
- Vibrations générées par les travaux : ne pas dépasser les limites établies à l'article 11.4.4.1.1 du CCDG
  - Ne pas autoriser les travaux interdits à moins de 30 m du béton n'ayant pas atteint 70% de f'c selon l'article « cure du béton »
- Accumulations de débris secs sur le dessus d'une dalle : à enlever avant le nettoyage à l'air
- Coffrages ou autres ouvrages provisoires à fixer au béton existant (non recouvert de nouveau béton) ou neuf
  - Obtenir l'autorisation du surveillant (vérifier la présence possible d'armature)
  - Utiliser des ancrages mécaniques
    - → Profondeur des trous inférieure à 60 % de l'épaisseur de l'élément
    - → Parties d'ancrage demeurant dans le béton sont en acier inoxydable
    - → Enrobage sur parties d'ancrages laissées dans le béton : 60 mm (sauf pour dessus d'une dalle où les ancrages peuvent être sciés au niveau du dessus du béton)
    - → Remplissage des trous : mortier cimentaire en sacs (couleur : même que celle du béton, approuvée par le surveillant), température minimale du béton : 5 °C
- Soudures non indiquées aux plans et devis : interdites
- Descentes de drainage temporaires et garnitures temporaires sur les joints de tablier à installer dans le cas de ponts ou de portions de ponts ouverts à la circulation en période hivernale, lorsque les éléments permanents n'ont pu être installés.

ÉQUIPEMENT D'ACCÈS MOTORISÉ

- Pour pont ou tablier neuf
- Réception des travaux par le surveillant et première inspection générale par le Ministère réalisées en même temps au moyen du même équipement d'accès
- Après réception de l'avis de l'entrepreneur (fin des travaux) : aviser l'entrepreneur de la date et heures où l'équipement d'accès doit être disponible (minimum de 3 heures par travée; minimum de 2 semaines entre les 2 avis)
- Équipement d'accès

Note Cet aide-mémoire ne constitue pas une liste exhaustive de toutes les exigences prescrites dans les documents contractuels.

- Modèle indiqué au devis spécial (doit atteindre toutes les surfaces des différentes parties du pont)
- Doit avoir été utilisé pour les ponts du Ministère au cours des 12 derniers mois
- Voir le registre d'entretien avant utilisation
- S'assurer que l'opérateur a fait sa ronde de sécurité
- Équipement jugé défectueux : à réparer ou à remplacer
- Opérateur
  - → Doit avoir opéré l'équipement pour les ponts du Ministère au cours des 12 derniers mois
  - → Doit avoir suivi la formation prévue à la norme CAN/CSA-C225
  - → Présenter au surveillant le certificat de la CCST (cours de sécurité)

– Câbles électriques ou autres : à enlever par l'entrepreneur

– Après première inspection : si certains travaux pas acceptables, le surveillant peut exiger une nouvelle inspection une fois les corrections apportées