

MANUEL DE CONSTRUCTION ET DE RÉPARATION DES STRUCTURES

Février 2009

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 des structures qu'à l'extérieur du Ministère. Nous tenons à souligner leur contribution.

MISE À JOUR

MÉMO DE MISE À JOUR
MANUEL DE CONSTRUCTION ET DE RÉPARATION DES STRUCTURES

Date : Février 2009

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 tel que décrit ci-après:

SECTION	RETIRER Page	AJOUTER Page	REMARQUES
Avant-propos			
			Retrait de la référence au Manuel d'inspection des structures pour la terminologie relative aux parties de pont
Généralités			
			Retrait des notions de surveillance complète et des activités en fin de contrat (transférées au devis type de surveillance); quelques paragraphes ont été ajoutés pour expliquer au surveillant ce qu'il à faire par rapport à ces transferts. Ajout de notions d'équipements de chantier (art. 6.11 du CCDG)
Tous les chapitres			
			Référence au site internet du BNQ pour les normes émises par cet organisme (accessible seulement par les employés du Ministère) Avis de conformité par l'entrepreneur : inspection faite par un ingénieur (sans délégation possible)
Chapitre 1 Démolition des ouvrages existants			
			Démolition d'une dalle sur poutres : mise en place d'un pontage entre les poutres Matériel : équipement plus léger pour démolir un trottoir, un chasse-roue ou une glissière lorsque l'on veut conserver la dalle; l'utilisation d'un positionneur-activateur pour marteau pneumatique (P.A.M.) pour un marteau 15 kg est permise Matériaux de démolition : retrait de la notion de lieu autorisé d'élimination ou d'entreposage des déchets solides

SECTION	RETIRER Page	AJOUTER Page	REMARQUES
Chapitre 2 Fondations			
			Matériaux de démolition (béton) : retrait de la notion de lieu autorisé d'élimination ou d'entreposage des déchets solides Enlèvement d'un batardeau par temps froid : fragmentation préalable des matériaux gelés
Chapitre 3 Pieux			
			Formulaire V-2056 modifié pour tenir compte du temps de fonçage et des tolérances d'enfoncement Soudures au chantier : attestation sur-le-champ par inspecteur en soudage et rapport écrit dans les 7 jours Pieux caissons : • enfoncement réalisé par une firme spécialisée et présence d'un ingénieur spécialisé en géotechnique relevant de l'entrepreneur • emboîture : définition de la qualité du nettoyage, que faire quand l'eau n'est pas suffisamment claire pour l'inspection avec la caméra vidéo et rapport d'enfoncement et d'inspection à fournir avant que le surveillant n'autorise l'arasement Essais de résistance géotechnique : • tous les essais : avis écrit à 7 jours et rapport final à 6 semaines • essais de traction et de chargement : ingénieur spécialisé en géotechnique relevant de l'entrepreneur (avis de conformité du montage, supervision de l'essai et rapports)
Chapitre 4 Ouvrages en béton			
			Béton autoplaçant de construction : essai de convenance à faire Béton avec superplastifiant à base de polycarboxylate : vérifier le temps de prise du béton Éléments en béton préfabriqué : réunion préalable Plans de coffrage de dalle si maintien de la circulation : retiré et remplacé par un pontage entre les poutres Attaches de coffrage galvanisées à chaud : mise en garde contre l'utilisation de galvanisants à froid (Zinga) Armature galvanisée : • pliage des barres avant galvanisation et notion d'écaillage ajoutés • traitement au chromate : précisions ajoutées sur l'aspect des barres

SECTION	RETIRER Page	AJOUTER Page	REMARQUES
			Armature : - regroupement des barres en faisceaux : mise en garde ajoutée - armature supplémentaire de dalle au droit des poutres : exemple de calcul et précisions sur mise en place - avis de conformité sur mise en place : à faire avant de fermer le coffrage et sur formulaire du Ministère - dimensions hors-tout (colonnes et chevêtres) : précisions et exemple d'application ajoutés Ancrages : interdiction de foreuse au diamant et précisions ajoutées sur l'utilisation de cartouches cimentaires Bétonnage de dalle : - finisseur automoteur avec pont-roulant d'une hauteur de 42 pouces pour bétonnage de plus de 18 m - profil du béton vérifié avec une règle de 3 m Causes de détérioration du béton frais : regroupées au chapitre 4 (démolition du béton, battage de pieux, compactage des matériaux) Injection du coulis dans es gaine de précontrainte : notions de température transférées du chapitre 6 au chapitre 4
Chapitre 5 Béton projeté			
			Rien de spécial à signaler
Chapitre 6 Précontrainte			
			Confection des mélanges de coulis : retrait des caractéristiques des mélanges (consulter plutôt les fiches techniques) Contreventements et ouvrage temporaires des poutres NEBT : - avis de conformité sur la mise en place à remettre après chaque quart de travail - après enlèvement : précisions sur la façon de combler les cavités
Chapitre 7 Ouvrages en acier et en aluminium			Restructuration du chapitre suite à celle de la sous-section 15.7 du CCDG
			Contreventements et ouvrage temporaires des poutres : - avis de conformité sur la mise en place à remettre après chaque quart de travail Joints boulonnés : - livraison des boulons dans des contenants scellés - entreposage des boulons à l'abri des intempéries - mise en place des boulons : réunion préalable - vérification de la tension minimale des boulons : - nouveau formulaire - exemples d'application - alignement des poutres principales - serrage à bloc des boulons : - clé électrique doit être utilisée

SECTION	RETIRER Page	AJOUTER Page	REMARQUES
			• audit sur 10% des boulons (joints de chantier) : remplacer tous les boulons si un seul boulon non conforme • serrage final des boulons des joints de chantier : • à faire qu'après autorisation du surveillant • vérification par ingénieur de l'entrepreneur et le surveillant • avis de conformité à remettre
Chapitre 8 Ouvrages en bois			
			Rien de spécial à signaler
Chapitre 9 Équipements			
			Appareil d'appui à élastomère confiné : • blocs d'assise : à bétonner après le bétonnage de l'unité de fondation • les manchons remplacés par plaque d'assise retenue par des tiges d'ancrage • cordon de retenue pour le coulis : à enlever Joint de tablier : • utilisation exclusive de joints à une garniture avec épaulements d'acier (adaptation des textes) • vibration du béton sous es tubes HSS : à faire correctement pour éviter les fuites • nouveau fournisseur pour joint à plus d'une garniture : • LCL Ponts • présence du représentant du fournisseur au chantier pour soudures pleine pénétration des joints d'assemblage Garde-fous en acier : • correction du dessus du béton sous les poteaux en acier avec de la poudre de ciment
Chapitre 10 Membrane d'étanchéité			
			Couche d'accrochage : doit être à base d'eau si enrobé temporaire mise en place
Chapitre 11 Revêtement en enrobé			
			Planage : planeur de 2 m : note de calcul nécessaire (efforts inférieurs au chargement CL-625) Liant d'accrochage : 0,20 l/m ² Granulats de scories d'acier : utilisation interdite Enrobé temporaire (dalle neuve) : précisions sur les documents de soumission

SECTION	RETIRER Page	AJOUTER Page	REMARQUES
Chapitre 12 Murs de soutènement homologués			
			Plans de construction retirés
Chapitre 13 Ponceaux préfabriqués			
			Plans de construction retirés
Chapitre 14 Galvanisation, métallisation et peinture			
			Galvanisation : • ne s'applique pas aux produits disponibles en permanence (sans fabrication préalable pour un projet en particulier) • attestation de conformité à fournir • liste des enduits riches en zinc acceptés par le Ministère Peinturage des surfaces d'acier • précisions sur précautions à prendre avant et après le soudage des appareils d'appui aux poutres Peinturage des surfaces de bois : retiré

Responsable du document : Denis Bérubé, ing.

MANUEL DE CONSTRUCTION ET DE RÉPARATION DES STRUCTURES

TABLE DES MATIÈRES

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
Chapitre 11	Revêtement en enrobé
Chapitre 12	Murs de soutènement homologués
Chapitre 13	Ponceaux préfabriqués
Chapitre 14	Galvanisation, métallisation et peinture

AVANT-PROPOS

Le *Manuel de construction et de réparation des structures*, édition février 2009, 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 2008. Cette édition tient compte des nombreuses modifications apportées au cours de la dernière année 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 2009 et les devis types de décembre 2008.

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 du laboratoire des chaussées alors que l'assurance qualité et le paiement des ouvrages relèvent de la Direction du soutien aux opérations; cette dernière publie à cet effet le *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

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 et à 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 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 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 qu'elle soit 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 possibles 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.

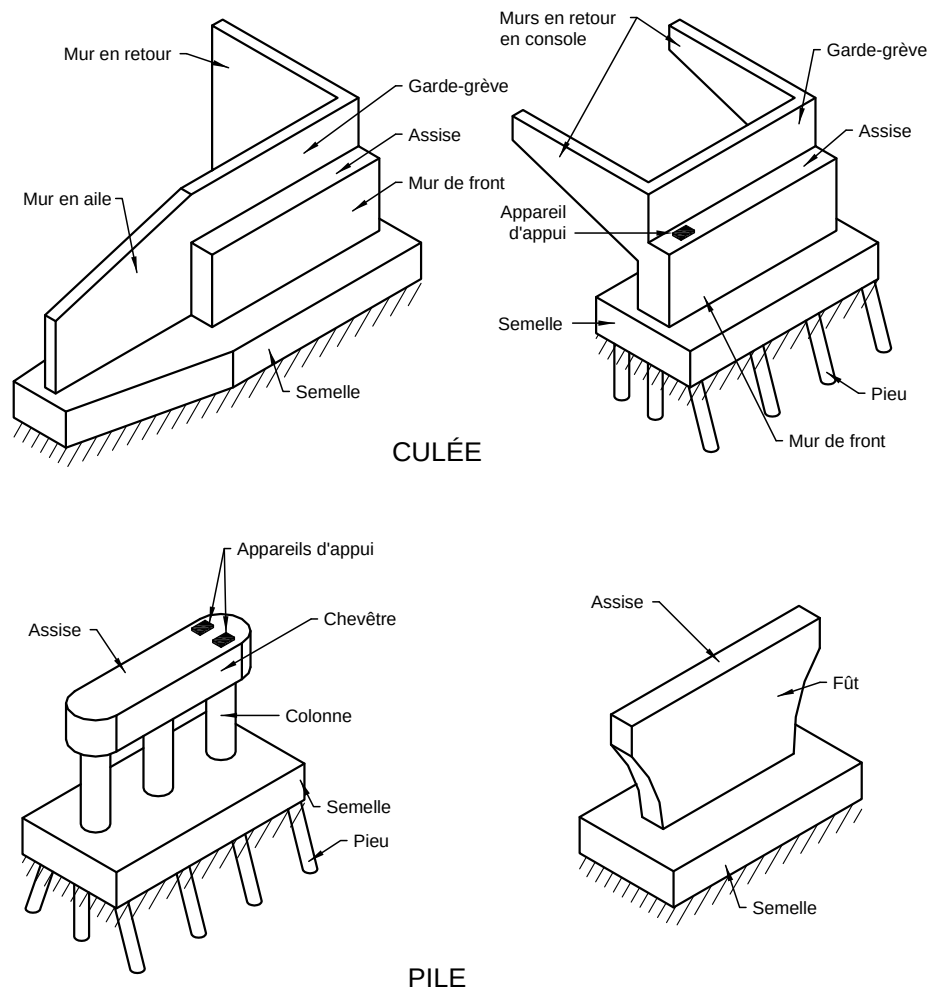
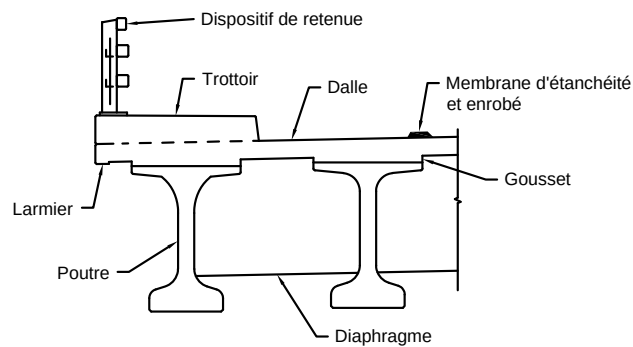
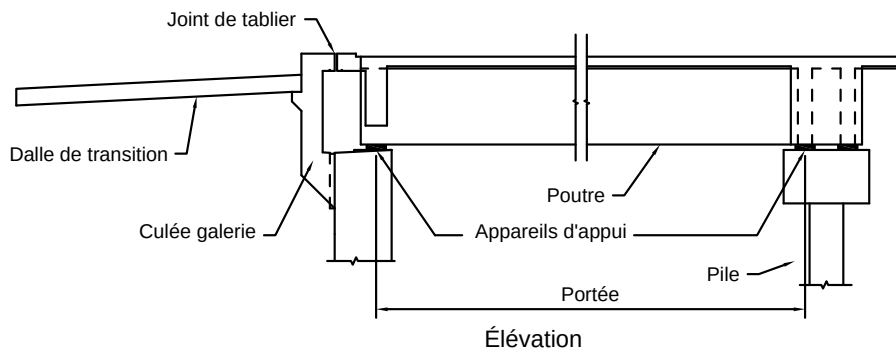
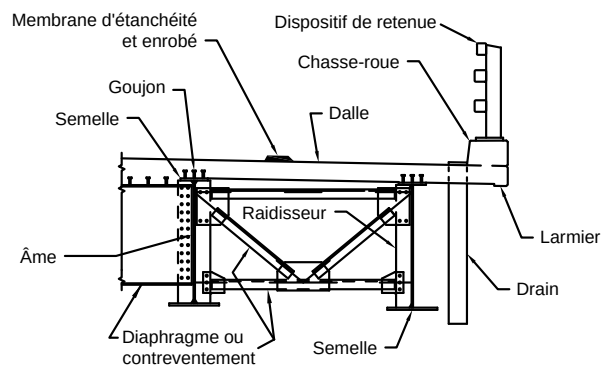


Figure 1 Terminologie – unités de fondation en béton armé



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 pour toute modification ayant une incidence structurale, 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 mandataires 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 (les documents contractuels, les manuels pertinents de la Direction des structures, la *Structure ministérielle de classification des documents*, la procédure de *Gestion des plans de structures*, et les documents spécifiques complémentaires comme les 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) et il 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 mandataire) et les manuels pertinents produits par la Direction des structures doit se trouver en tout temps au bureau de chantier.

Lorsque la surveillance est réalisée par un mandataire, le surveillant doit bien connaître le contenu du contrat de services professionnels liant le surveillant et le Ministère, notamment au niveau des notions concernant la présence du surveillant au chantier, la surveillance complète, l'impossibilité de déléguer certaines tâches jugées plus complexes 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 doit être coordonnée, 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 l'inspection par le 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 chargé 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 chargé de projet du Ministère de la date de l'inspection des travaux, dans le cadre de la réception de ceux-ci, afin que le chargé 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 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 de projet du Ministère dans le processus de réception des travaux.

Dans le cas d'un pont ou un tablier neuf avec des côtés extérieurs en béton, 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 la figure 1 (formulaire F313.1) confirmant que l'ouvrage a été construit en conformité des exigences contractuelles. Le formulaire est disponible sur le site intranet de la Direction des structures; le surveillant doit utiliser la version du formulaire apparaissant sur ce site car elle est en grandeur réelle.

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 au 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 ». Mentionnons qu'une glissière en béton pour chantier peut être utilisée comme dispositif de retenue. 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 visés 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 2.17.4.1 « Ponts » du *Tome III – Ouvrages d'art des normes du Ministère* et de l'article 10.3.4 « Pont temporaire » du CCDG.

À la suite de la construction du pont temporaire et avant sa mise en service, l'entrepreneur doit remettre au surveillant un avis signé par un ingénieur attestant que l'ouvrage répond en tous points aux plans d'atelier soumis. Il n'est pas nécessaire que l'ingénieur signataire de cet avis soit celui qui a préparé les plans d'atelier.

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 en autant 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 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.

Dans le cas des véhicules routiers utilisés lors des travaux, leur poids est limité aux charges légales sans toutefois excéder la capacité affichée du pont, et ce, en autant qu'il n'y ait pas d'autres exigences plus restrictives aux plans et devis. Pour ce qui est

des équipements de chantier (ayant un poids supérieur à 23 t, donc ne pouvant pas circuler sur des chemins publics), ou dans le cas de la mise en place d'éléments lourds tels que des poutres préfabriquées ainsi que pour 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 ». Mentionnons que pour le décapage (enlèvement de l'enrobé), le poids de l'équipement est limité à 20 t au CCDG.

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 dans l'annexe « Glissière en béton pour chantier (pont) » du devis spécial. Le surveillant doit aussi se référer, pour plus d'information, à l'article 2.17.4.2 « Dispositifs de retenue » du *Tome III – Ouvrages d'art* des normes du Ministère et à l'article 10.3.5.2.1 « Glissières en béton pour chantier » du CCDG. Mentionnons que ces glissières, qui sont exigées depuis quelques années, 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.

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 ne laissent aucune pièce métallique, sauf celles en acier inoxydable, à moins de 60 mm du dessus de la dalle afin d'éviter une corrosion prématurée des armatures. 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 10.3.5.2.1 « 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, il faut selon le cas remplir les trous d'ancrage de mortier cimentaire ou couper les ancrages en acier inoxydable. Le mortier doit respecter les exigences de la norme 3801 du Ministère. Les mortiers qui respectent les exigences de la norme apparaissent à la « Liste des matériaux relatifs au béton de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle se trouve sur le site intranet de la Direction du laboratoire des chaussées et sur le site Internet du ministère des Transports.

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

Il est important de mentionner que la Direction du laboratoire des chaussées publie annuellement une liste des matériaux relatifs au béton de ciment 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 du laboratoire des chaussées. 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 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 intranet de la Direction du laboratoire des chaussées et sur le site Internet du ministère des Transports.

**ATTESTATION DE CONFORMITÉ
SURVEILLANCE DES TRAVAUX DE STRUCTURES**

Numéro de structure :	P. _____	DT :	_____
Numéro de projet :	_____	Chargé projet (DT) :	_____
Numéro de dossier :	_____	Firme :	_____
Municipalité :	_____	Adresse :	_____
Voie supérieure :	_____	Surveillant :	_____
Obstacle :	_____	Représentant technique :	_____
Nature des travaux :	_____	Représentant de l'assurance de la qualité :	_____

Nous attestons, par la présente, que l'ouvrage a été construit ou réparé, relativement au mandat de surveillance du projet mentionné précédemment, selon les exigences contractuelles (plans et devis) liant l'entrepreneur au ministère des Transports du Québec ainsi que celles du *Manuel de construction et de réparation des structures* et du devis de services professionnels. S'il y a lieu, toute dérogation a fait l'objet, au préalable, d'une entente avec le Ministère et apparaît dans un avenant et/ou aux plans « Tel que construit ».

De plus, la surveillance a été réalisée en respectant les exigences de notre système qualité conforme à la norme ISO-9001 présentement en vigueur.

Nom (Surveillant)

Signature

Signé à

Date

Figure 1 Formulaire – Attestation de conformité - Surveillance de travaux de structures

CHAPITRE 1

DÉMOLITION DES OUVRAGES EXISTANTS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1-1
1.1 MATÉRIEL	1-2
1.1.1 Démolition complète	1-3
1.1.2 Démolition partielle	1-6
1.2 MISE EN ŒUVRE	1-10
1.2.1 Démolition complète	1-12
1.2.2 Démolition partielle	1-13
LISTE DES TABLEAUX	
Tableau 1.1-1 Marteaux hydrauliques acceptés par le Ministère (énergie de choc)	1-8
PHOTOGRAPHIES	1-19
AIDE-MÉMOIRE	1-21

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 les trois points suivants :

- le matériel de démolition choisi doit être adéquat tant en ce qui concerne le type d'équipement que ses caractéristiques;
- 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.

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.

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.

Le CCDG a fait l'objet d'importants changements récemment puisqu'il fait maintenant fait référence aux parties de pont à démolir plutôt qu'au matériel disponible. Le manuel conserve tout de même les informations concernant le matériel, car elles sont utiles pour bien comprendre les limites de chacun d'eux. Par contre, les parties de pont à démolir ont été ajoutées afin d'assurer l'adéquation entre le CCDG et ce manuel.

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. Le marquage de la localisation des poutres et des diaphragmes sur le dessus de la dalle au moyen d'une peinture en aérosol est un bon moyen pour 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, d'un trottoir, 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 dans le devis spécial 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 ou d'un chasse-roues. 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 attenants 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

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 démolé et le béton à conserver doit être respectée.

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 : voir l'Info-structures n° 2000-11). 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, chasse-roue ou glissière en béton

Tel qu'indiqué à l'annexe « Matériel de démolition autorisé » du devis spécial, 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 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 attenant 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.

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 10000 kg) afin d'éviter d'endommager les unités de fondation à conserver.

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 en autant que les exigences du CCDG sont 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 induite engendrée par l'équipement de démolition lui-même.

L'utilisation d'un positionneur-activateur pour marteau pneumatique (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, ainsi que 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 de ce marteau 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	2500; 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	Piccolo; 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 structurellement 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 problème.

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 structurellement 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 1.1.1 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 relatives 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. 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.

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 à conserver.

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

Délimitation des surfaces (traits de scie)

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 contaminée et d'avoir une rugosité favorisant l'adhérence du béton 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 du laboratoire des chaussées.

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 un marteau ou une masse, en utilisant à la rigueur un ciseau pour décoller le béton fortement adhérent. Un jet d'eau haute pression pourrait également être employé. Dans le cas où une poutre ou des goudrons sont endommagés, le surveillant doit consulter le concepteur ou la Direction du laboratoire des chaussées pour obtenir la procédure requise pour la suite des travaux.

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 apparaît sur le plan de démolition dans le cas d'une démolition complète.

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.

Plan de démolition

Un plan de démolition signé et scellé par un ingénieur est toujours requis (voir le CCDG). Le surveillant devrait également s'assurer que l'entrepreneur a transmis un avis écrit de démolition à la CSST; 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.

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 reconstruction de la dalle au devis spécial.

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 devis spécial, 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 pontage est mis en place avant de débiter 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 veiller à ce que le marteau soit opéré à un angle compris entre 45° et 60° 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 la profondeur de démolition excède 100 mm, puisque l'intégrité du béton résiduel situé au-delà de cette profondeur est trop difficile à préserver. De même, une réparation en profondeur est exigée pour restaurer le dessous d'une dalle sur poutres endommagée, puisqu'il est plus facile de procéder ainsi plutôt que par une réparation avec coffrages sans surépaisseur.

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, 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 structurellement 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, pour les unités de fondation avec 4 colonnes ou plus, 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 intérieures doivent donc être réparées en alternance; dans le cas des colonnes extérieures, la circulation au-dessus des colonnes réparées ne doit pas être autorisée afin de diminuer la charge à supporter 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.

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, ou un béton sain comme mentionné dans le CCDG, est un béton qui est suffisamment en 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.

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 90° 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 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, l'entrepreneur doit nettoyer rapidement les surfaces démolies afin d'éviter que les résidus 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.

PHOTOGRAPHIES

DÉMOLITION DES OUVRAGES EXISTANTS



1. Scie à béton



2. Enlèvement des parties de dalle sciées



3. Démolition partielle avec marteaux pneumatiques 7 kg



4. Enlèvement de parties métalliques de joint avec marteau hydraulique 200 J



5. Démolition de glissière avec marteau hydraulique 350 J



6. Hydrodémolition sur dalle



7. Utilisation d'un équipement de support pour marteau pneumatique manuel

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 1 – DÉMOLITION DES OUVRAGES EXISTANTS

MATÉRIEL

Conformité du matériel proposé

- ❖ Voir annexe « Matériel de démolition autorisé » au devis spécial
- ❖ Voir fiches techniques et tableau 1.1-1 pour marteaux hydrauliques < 200J 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
 - o Béton au-dessus de la nappe inférieure d'armature : marteau pneumatique manuel < 30 kg ou marteau hydraulique < 60 J (véhicule porteur < 1 000 kg)
 - o Béton au niveau et en dessous de la nappe inférieure d'armature : marteau pneumatique manuel < 7 kg
 - o Béton immédiatement au-dessus de poutres en acier : manuellement (masse, jet d'eau haute pression...)
 - Côté extérieur d'une dalle
 - Dalle sur poutres
 - o 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
 - o 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
 - o 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
 - o Béton à proximité du béton à conserver : marteau pneumatique manuel < 15 kg
 - Trottoir, chasse-roue ou glissière en béton
 - Trottoir ou chasse-roue : marteau pneumatique manuel < 30 kg ou marteau hydraulique < 60 J (véhicule porteur < 1 000 kg)
 - Glissière en béton :
 - o Marteau hydraulique < 350 J (véhicule porteur < 3 000 kg) ou brise-béton de type cisaille jusqu'à 100 mm du béton de la dalle
 - o Béton à proximité du béton de la dalle : marteau pneumatique manuel < 15 kg
 - Éléments en acier intégrés à un chasse-roue ou un trottoir : marteau hydraulique < 200 J (véhicule porteur < 1 500 kg)

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

- Remplacement ou élimination d'un joint de tablier
 - Épaulement et dalle
 - o Marteau pneumatique manuel < 30 kg ou marteau hydraulique < 60 J (véhicule porteur < 1 000 kg)
 - o 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
 - o Marteau pneumatique manuel < 30 kg ou marteau hydraulique < 60 J (véhicule porteur < 1 000 kg) jusqu'à 100 mm du béton à conserver
 - o Béton à proximité du béton à conserver : marteau pneumatique manuel < 15 kg
 - Garde-Grève > 450 mm
 - o Marteau hydraulique < 200 J (véhicule porteur < 1 500 kg) jusqu'à 100 mm du béton à conserver
 - o 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 1^{re} nappe d'armature
 - Poutres, diaphragmes, colonnes, socles d'appui, chevêtres, dalles épaisses évidées et autres éléments structurellement sensibles : marteau pneumatique manuel < 15 kg
 - Semelles, culées, piles, murs et dalles épaisses pleines > 450 mm : marteau hydraulique < 200 J (véhicule porteur < 1 500 kg)
 - Autres éléments de pont : marteau pneumatique manuel < 30 kg ou marteau hydraulique < 60 J (véhicule porteur < 1 000 kg)
 - Béton au niveau et en dessous de la 1^{re} 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/po²)
 - Hydrodémolition : solution de rechange acceptable si résultats comparables
 - Faire essai d'étalonnage lorsqu'un équipement automoteur est utilisé
 - 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)
- ❖ 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 45° et 60°
- ❖ 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

Démolition complète

- ❖ Dépôt du plan de démolition :
 - Vérifier si signé par un ingénieur
 - Vérifier si avis écrit transmis à la CSST
- ❖ Section originale de la rivière à restaurer
- ❖ Piles et culées à démolir jusqu'à 1 m sous le niveau du sol (ou jusqu'à 2,5 m sous le niveau de la route)
- ❖ Pontage (démolition de dalle sur poutres)
 - Plan de pontage à fournir (fait partie du plan de démolition, voir art. 6.6 du CCDG)
 - Entre les poutres
 - Vis-à-vis les voies de circulation sous l'ouvrage (incluant 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

- ❖ Nettoyage des surfaces
 - Nettoyer fréquemment les surfaces démolies
 - Nettoyer les surfaces à conserver avant l'assèchement des résidus d'hydrodémolition
- ❖ Parties de revêtement de talus et de remblai : à restaurer
- ❖ Considérations structurales
 - Ne pas compromettre la stabilité de l'ouvrage
 - Dépôt du plan de démolition lorsque requis au devis
 - Voir restrictions au devis spécial
 - Vérifier si capacité de l'ouvrage doit être réduite
 - 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 (pile avec 4 colonnes et plus)
 - Pas de circulation sur colonnes extérieures (pile avec 4 colonnes et plus)
 - Chevauchement minimal des armatures à remplacer : 600mm
 - En cas de doutes, suspendre les travaux et consulter le concepteur
- ❖ 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

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

- 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
- ❖ Démolition
- Enlever tout le béton non sain (désagrégré 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)
 - o 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) : 60 mm + béton non sain (ajouter 25 mm au besoin pour dégager les armatures devenues apparentes)
 - Dalle sur poutres (dessous de dalle) : faire réparation en profondeur
 - Dalle épaisse ou trottoir (en surface) : 60 mm + béton non sain (ajouter 25 mm au besoin pour dégager les armatures devenues apparentes)

CHAPITRE 2

FONDITIONS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	2-1
2.1 DOCUMENTS REQUIS	2-2
2.2 EXIGENCES DE CONCEPTION	2-3
2.3 MATÉRIAUX	2-7
2.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ – ATTESTATION DE CONFORMITÉ	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	2-22
2.5.5 Remplissage des excavations et remblai	2-23
2.5.6 Revêtement de protection	2-29
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 Modes de rupture d'un batardeau en palplanches métalliques	2-14
Figure 2.5-2 Formulaire – Forage et sautage	2-18
Figure 2.5-3 Profondeur des fondations	2-20
Figure 2.5-4 Remplissage des excavations et mise en place du remblai à proximité d'une culée	2-25
Figure 2.5-5 Remblayage d'un ponceau métallique – suivi de la déformation	2-28
Figure 2.5-6 Coupe type d'un revêtement en pierres	2-29

PHOTOGRAPHIES	1-33
AIDE-MÉMOIRE	1-37

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 CCDG, des plans, devis et bordereaux 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). Rappelons que le lien vers le BNQ se trouve sur le site intranet de la Direction de la recherche et de l'environnement.

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/m²).

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 et au nombre minimal de copies à fournir selon le format ISO A1. 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 et, qu'il n'y a pas de conflit notamment entre les composants d'un batardeau en palplanches et celui-ci. 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.

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 va alors requérir 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.

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 boulangerie.

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 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.

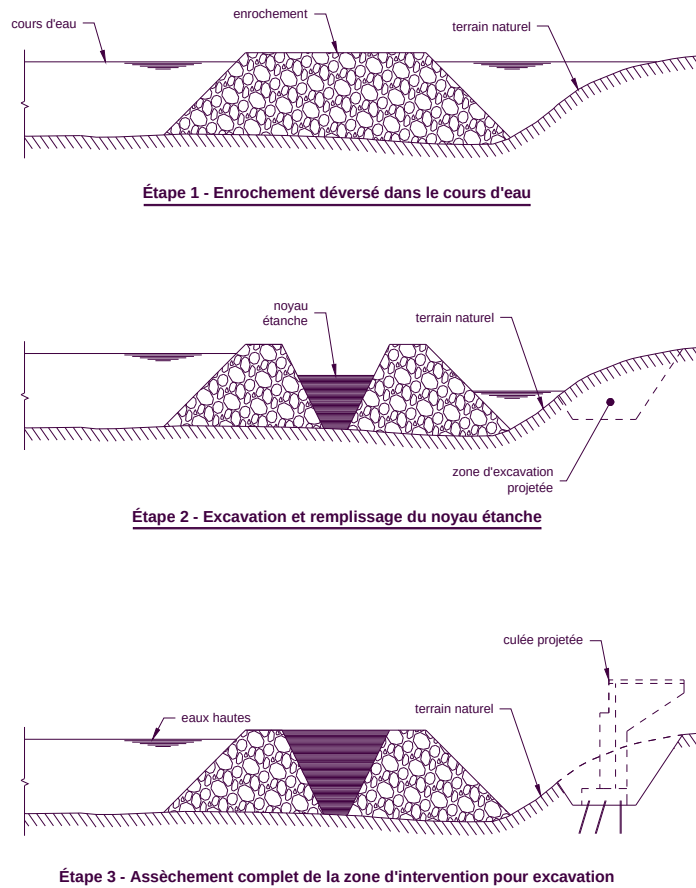


Figure 2.2-1 Batardeau en terre – Exemple de réalisation

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'étais 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 vibrofonçeur sur le pourtour des liernes.

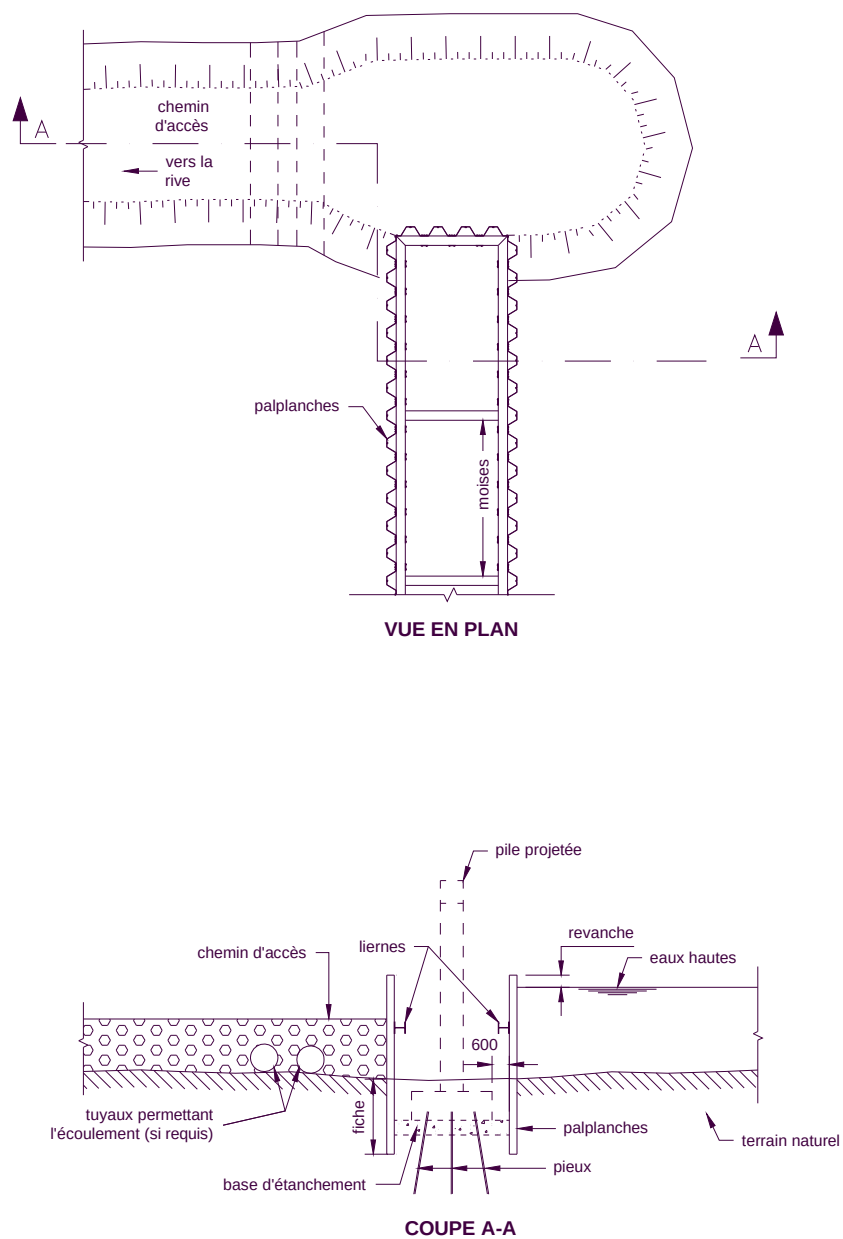


Figure 2.2-2 Batardeau en palplanches métalliques – Exemple

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 autres que le roc 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 mur de soutènement. 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 boulangerie.

2.3 MATÉRIAUX

Les pierres utilisées pour la construction des revêtements doivent être conformes aux exigences de la norme 14501 du Ministère, notamment en ce qui a trait aux caractéristiques requises. Le surveillant doit donc 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 demeureront bien en place à court et à long terme. L'attestation doit contenir les informations suivantes :

- le nombre pétrographique. La valeur maximale spécifiée dans la norme assure une dureté suffisante pour éviter que les pierres se désagrègent avec le temps;
- le pourcentage de fragmentation. Cette donnée est importante pour s'assurer que les pierres ont des arêtes vives, ce qui permet d'obtenir une meilleure stabilité de la protection en améliorant la cohésion des pierres les unes par rapport aux autres. Mentionnons que les pierres dont au moins une des faces est fracturée satisfont habituellement aux exigences de la norme; les pierres des champs sont à éviter étant donné qu'elles n'ont pas de faces fracturées contrairement aux pierres qui proviennent d'un procédé de concassage;
- le pourcentage d'absorption. Pour un ouvrage situé près d'un cours d'eau, un pourcentage d'absorption élevé se traduit 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 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 respecté 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.

2.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ – ATTESTATION DE CONFORMITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

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 n'aurait pas vraiment 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.

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, y compris 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 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, les pressions sur ses composants augmentent 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 étalements 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 étalements 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 en cause.

Même si les infiltrations d'eau à l'intérieur d'un batardeau peuvent sembler sous contrôle, il est 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.

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 tous points 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 se faire 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 (béton de type XV) puisque l'eau est stagnante. Il est par contre important de respecter les autres exigences relatives au bétonnage sous l'eau, notamment celles qui concernent l'utilisation d'une pompe à béton ainsi que la température de l'eau qui doit être supérieure à 5 °C. 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 tâche 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 érosions à ses abords. Il devrait aussi surveiller, particulièrement lors de l'assèchement du batardeau et lors de variations importantes du niveau de l'eau 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.

Puisque l'entrepreneur devrait effectuer des relevés sur le comportement du batardeau, le surveillant devrait en prendre connaissance et 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 en cause.

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, la figure 2.5-1 montre les modes de rupture les plus courants ainsi que les signes précurseurs qui y sont associés.

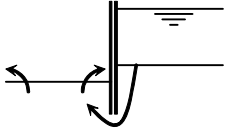
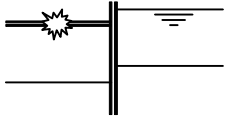
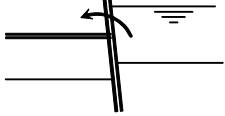
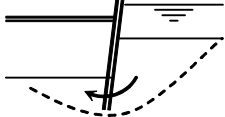
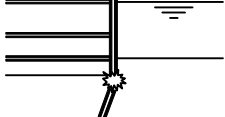
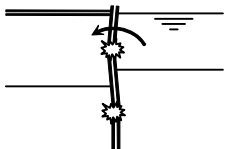
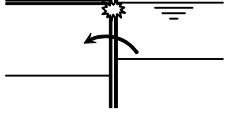
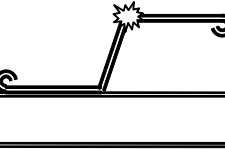
Description de la rupture	Figures	Signes précurseurs visibles	Vérification
Soulèvement du fond du batardeau		Non	Longueur de la fiche, par abaques ou calculs
Flambement de l'étaie intérieure (moise)		Non	Résistance de la moise
Renversement du mur de palplanches		Déplacement du mur	Équilibre du mur
Glissement (stabilité de l'ensemble)		Non	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	Résistance de la palplanche
Flexion transversale de la palplanche		Courbure transversale très forte des palplanches	Résistance de la palplanche

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

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.

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, y compris 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 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 exacts 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 bien réaliser que tout sondage effectué n'est présumé exact qu'au point où le forage 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 profils des forages. Toute anomalie et tout écart important doivent être signalés 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.

Déblais de première classe et de deuxième classe

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 m³ 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 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*.

Le surveillant doit remplir le formulaire V-1390 « Journal de chantier – Forage et sautage » dans tous les cas d'excavation de première classe exigeant l'emploi d'explosifs.

La figure 2.5-2 présente le formulaire V-1390.

[illegible]

Figure 2.5-2 Formulaire – Forage et sautage

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.

Destination des matériaux excavés

Il est exigé au CCDG que tous les matériaux excavés doivent être mis au rebut. 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 les dimensions théoriques des excavations en 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 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 homologués

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.

Dans le cas d'un mur en 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 régalinge du fond de l'excavation doit se faire sur cette largeur à la base du mur; le régalinge 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 la fiche dans le sol est d'au moins 1,8 m, sauf si le mur repose sur le roc. La fiche peut être réduite à 0,4 m 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. Ces murs, dont la paroi repose directement sur le sol, ont une faible sensibilité au tassement différentiel. La sensibilité au tassement différentiel d'un mur est indiquée au chapitre 5 « Murs » du *Tome III – Ouvrages d'art des normes du Ministère*. De plus, pour les murs qui ont une sensibilité moyenne au tassement différentiel, il est possible de réduire la fiche à 0,4 m pour autant que les exigences du CCDG quant à la nature du sol sous la paroi soient respectées (voir la figure 12.5-2). Dans ce cas, le sol existant sous le mur peut être laissé ou non en place comme cela est indiqué dans 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 maximale du Proctor modifié. Le surveillant doit veiller à ce que des essais de compaction soient réalisés et que la densité requise soit obtenue.

Par contre, il n'est pas possible de réduire la fiche sous les 1,8 m pour les murs ayant une sensibilité élevée au tassement différentiel.

La figure 2.5-3 montre la profondeur des fondations d'un mur ayant une sensibilité moyenne au tassement différentiel.

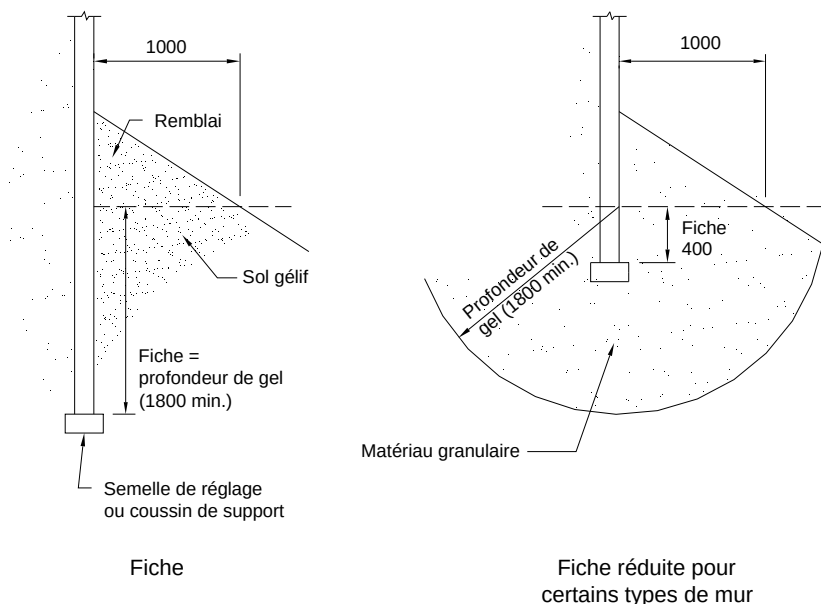


Figure 2.5-3 Profondeur des fondations

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 qui ne repose pas sur des pieux, il doit tout d'abord s'assurer que les sols en place correspondent bien à ceux décrits au rapport des sondages; si ce n'est pas le cas, le surveillant se doit de consulter le concepteur. 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 sans dents 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.

Ces exigences du CCDG dans le cas d'une fondation qui ne repose pas sur des pieux s'imposent afin d'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. Lorsqu'une telle situation se présente, le surveillant se doit de consulter le concepteur afin que ce dernier trouve une solution pour remédier au problème.

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 se doit de consulter le concepteur pour que ce dernier évalue 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 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.

Lorsqu'un confinement au roc est spécifié, le surveillant doit également s'assurer que la profondeur d'excavation dans le roc est suffisante pour permettre sa réalisation. Mentionnons que la profondeur habituelle du confinement est d'au moins 300 mm sur tout le pourtour de la semelle.

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. 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. 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.

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.

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 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.

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 détrempe 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 1500 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, ce matériel 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 2.5-4 montre le remplissage des excavations et la mise en place du remblai derrière une culée; 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.

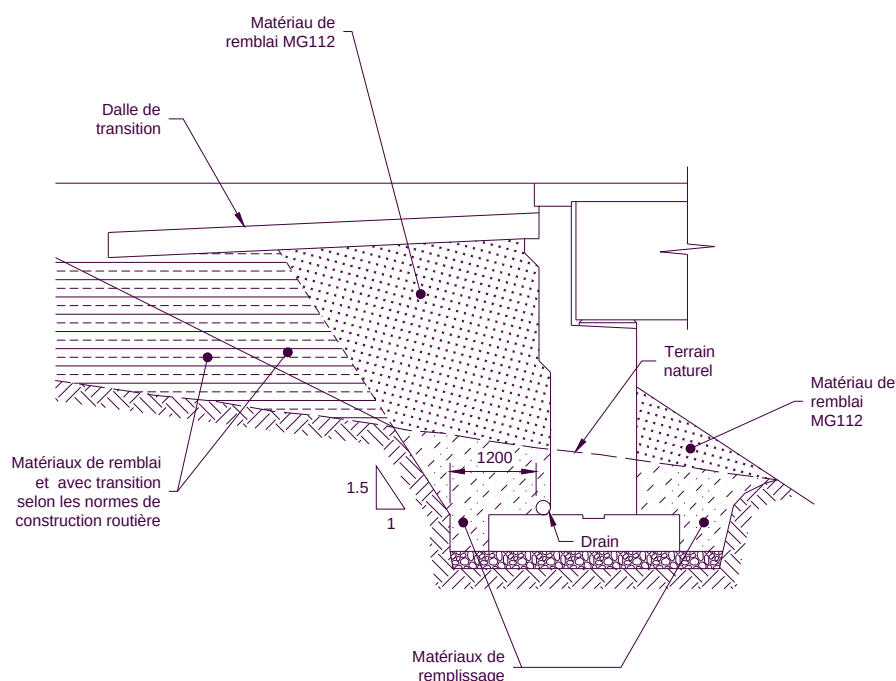


Figure 2.5-4 Remplissage des excavations et mise en place du remblai à proximité d'une culée

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 en polyéthylène ou métalliques, 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 % 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. Il peut fournir cette résistance pourvu qu'il soit suffisamment compacté.

Il faut, par contre, procéder au préalable 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 en polyéthylène ou métallique doivent être épandus par couches maximales de 300 mm et compactés à 90 % 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 % 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 2.5-5). 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.

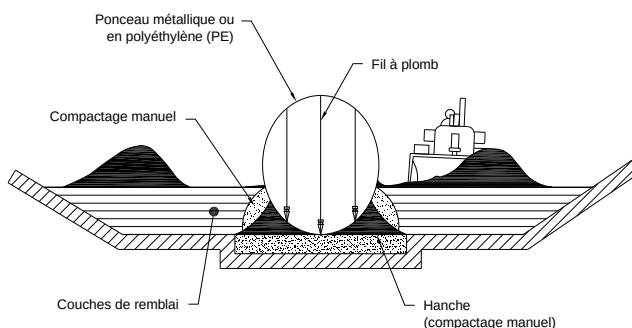


Figure 2.5-5 Remblayage d'un ponceau métallique – suivi de la déformation

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 « Directions pour le passage sur le dessus de la structure – Étapes critiques » publiée par la compagnie ARMTEC tel que mentionné dans l'avis technique pertinent.

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 régaliées 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 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.

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. Pour ce faire, les plans exigent 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 2.5-6 montre la tranchée au pied d'un revêtement en pierres.

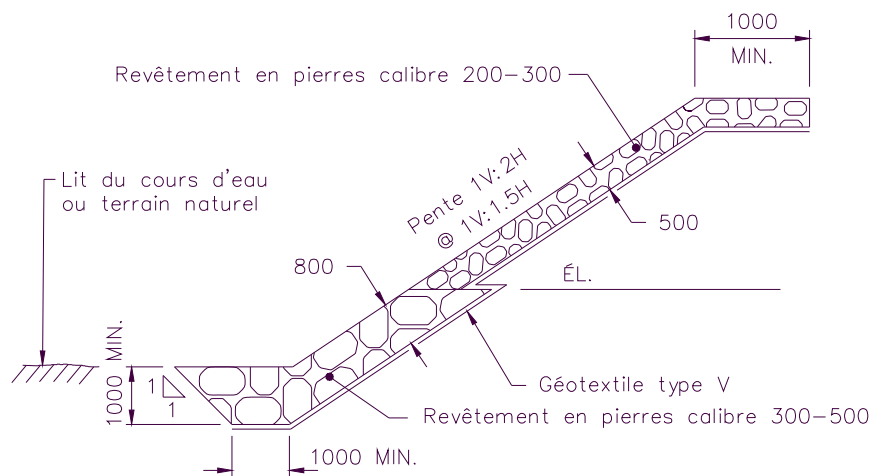


Figure 2.5.6 Coupe type d'un revêtement en pierres

Les revêtements de protection sont posés pour servir dans des conditions qui peuvent être très difficiles, et leurs dimensions peuvent être 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.

Revêtement en pierres

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 des pierres spécifié dans les plans et devis est effectué en 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; par contre, 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 celles de la sous couche auront tendance à migrer à travers celle-ci. 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.

Revêtements en pierres cimentées, en pavés et en béton

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



1. Excavation de première classe en paliers



2. Excavation de première et deuxième classe selon la technique utilisée



3. Nettoyage de la surface du roc



4. Fond d'excavation détrempe à assécher



5. Fond d'excavation détrempe : nécessité d'un coussin de propreté



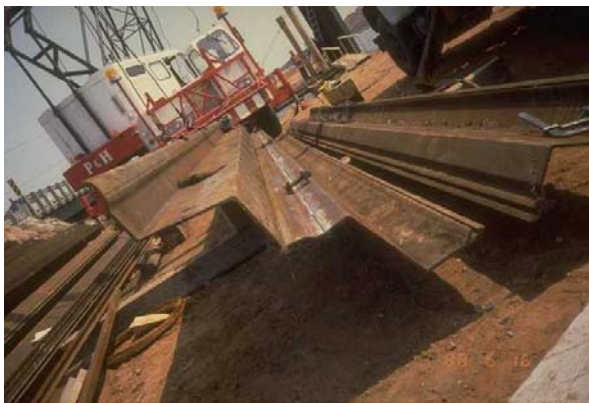
6. Chemin d'accès avec pont temporaire



7. Accès à partir d'une barge



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



9. Section type de palplanches métalliques



10. Vibrofonneur utilisé pour le fonçage des palplanches métalliques



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



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



13. Base d'étanchéité



14. Enlèvement des palplanches métalliques



15. Trappe à sédiments (entre batardeau et pile existante)



16. Bassin de sédimentation



17. Soutènement temporaire en palplanches métalliques



18. Soutènement temporaire type berlinois



19. Mise en place de pierres avec une pelle hydraulique



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



21. Revêtement en pierres lors de la construction



22. Revêtement en pierres finalisé



23. 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
- ❖ Remplir le formulaire V-1390 « Journal de chantier – Forage et sautage »

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 μ m), 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

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)

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

Voir chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

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)
- ❖ Assèchement du batardeau
 - Pendant l'assèchement
 - Être attentif pour déceler d'éventuelles déformations du batardeau
 - Batardeau en palplanches : étalements à mettre (voir plans d'atelier)

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

- 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
 - 600 mm au pourtour de la base de l'ouvrage (mur remblai renforcé : jusqu'à 300 mm au-delà des inclusions ou ancrages)
 - 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
- ❖ 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)

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

- 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 % Proctor modifié)
 - Fond de roc : utiliser un béton de type V (utiliser un matériau granulaire pour tuyaux utilisés comme ponceaux)
 - 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
 - Remplissage des excavations
 - À partir de 1,2 m à partir drain ou semelle (pente 1,5V : 1H) jusqu'au niveau avant excavation
 - Remblai
 - À partir de 1,2 m ou 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

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

- 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 11.8.2.3.2 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 % Proctor modifié
 - 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
3.1 DOCUMENTS REQUIS	3-2
3.2 EXIGENCES DE CONCEPTION	3-3
3.3 MATÉRIAUX	3-4
3.4 MISE EN ŒUVRE	3-7
3.4.1 Enfouissement	3-7
3.4.2 Résistance géotechnique	3-23
3.4.3 Arasement	3-37
FIGURES	
Figure 3.2-1 Pointes pour pieux	3-6
Figure 3.4-1 Formulaire V-2056 « Enfouissement des pieux »	3-14
Figure 3.4-2 Formulaire V-1876 « Journal de fonçage »	3-15
Figure 3.4-3 Formulaire V-1877 « Enfouissement des pieux caissons »	3-22
Figure 3.4-4 Montage pour essai en traction – avec un seul vérin	3-28
Figure 3.4-5 Formulaire V-2058 « Essai de chargement »	3-32
Figure 3.4-6 Formulaire V-2057 « Données et graphique – Essai de chargement »	3-33
Figure 3.4-7 Montages pour essai de chargement	3-35
Figure 3.4-8 Représentation d'un graphique « charge – affaissement »	3-36
PHOTOGRAPHIES	3-39
AIDE-MÉMOIRE	3-43

INTRODUCTION

Le pieu est un élément utilisé pour transmettre les charges d'une structure 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, d'autres principalement à la pointe alors que quelques-uns combinent ces deux modes. Dans le premier cas, la charge est supportée par la friction latérale 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 dense.

Le pieu le plus couramment utilisé dans les ouvrages du Ministère est le pieu d'acier; il est le plus souvent tubulaire et, à l'occasion, rempli de béton. Il permet 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 H de profilé HP, bien que rarement employé au cours des dernières années, devrait voir son utilisation augmenter en raison de l'accroissement des charges occasionné par l'application de la plus récente version de la norme CAN/CSA-S6. Le pieu en bois, quant à lui, qui a déjà été largement employé, devrait voir 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; ce type de pieu est toujours rempli de béton armé. En raison de leur grande capacité, leur nombre est fortement réduit; souvent un seul pieu par pile, c'est pourquoi un contrôle rigoureux est de mise, car les correctifs éventuels, en cas de non-conformité, peuvent s'avérer problématiques parce qu'il est difficile de remplacer un pieu de cette ampleur. Compte tenu de leur mise en œuvre qui est très différente de celle des pieux battus et du nombre peu élevé de pieux caissons réalisés chaque année, 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 plus 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 CCDG. Le surveillant se doit de 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-G40.21 : Acier de construction
- ASTM A500 : *Standard Specification for Cold Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes*
- 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 émises par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ). Rappelons que le lien vers le BNQ se trouve sur le site intranet de la Direction de la recherche et de l'environnement :

3.1 DOCUMENTS REQUIS

L'entrepreneur doit fournir au surveillant les plans d'atelier des pieux ainsi qu'une note de calcul. Ces documents ne sont pas demandés pour les pieux caissons puisque les documents de soumissions sont complets pour ces pieux.

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 (dimensions, détails des joints, orientation de l'axe fort des pieux en H);
- les caractéristiques des matériaux;
- le détail des pointes.

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. 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 est utilisé pour savoir si un pieu, enfoncé dans un sol autre qu'argileux, l'est adéquatement 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. Il existe deux critères de refus. Le premier, appelé « critère de refus théorique », est établi dans la note de calcul accompagnant les plans d'atelier des pieux. Le deuxième critère, appelé « critère de refus au chantier », est établi à la suite des essais de chargement sur des pieux déjà foncés.

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.

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 aux normes CSA-G40.21 et ASTM A500 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 des pieux caissons, quant à lui, doit être de type V. 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.

Lorsqu'il y a de l'eau à l'intérieur des pieux tubulaires en acier ou des pieux caissons (incluant l'emboîture) ou lorsqu'il n'est pas possible d'effectuer la vibration interne du béton, l'entrepreneur doit utiliser un béton autoplaçant de construction conforme au béton autoplaçant de réparation de la norme 3101 du Ministère (à l'exception du tableau 3101-2 qui est remplacé par celui apparaissant au devis spécial, le gros granulat 5-10 de la norme est remplacé par un gros granulat 5-14). Ce béton doit être mis en place selon les exigences relatives au bétonnage sous l'eau du chapitre 4 « Ouvrages en béton » de ce manuel. L'utilisation du béton autoplaçant s'impose afin d'éviter une augmentation indue du rapport eau/liant et de faciliter la mise en place du béton. En effet, puisque la vibration du béton est inutile avec ce type de béton, la mise en place de celui-ci est grandement simplifiée. Dans le cas où il n'y a pas d'eau dans le pieu, l'entrepreneur doit utiliser un béton autoplaçant s'il ne prévoit pas effectuer la vibration du béton. Mentionnons qu'un béton autoplaçant est utilisé au lieu du béton de type XV (antilessivage), puisque ces deux bétons ont un comportement similaire en eaux calmes et parce que le coût du premier est moins élevé.

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 doit être conforme à la norme 5101 du Ministère.

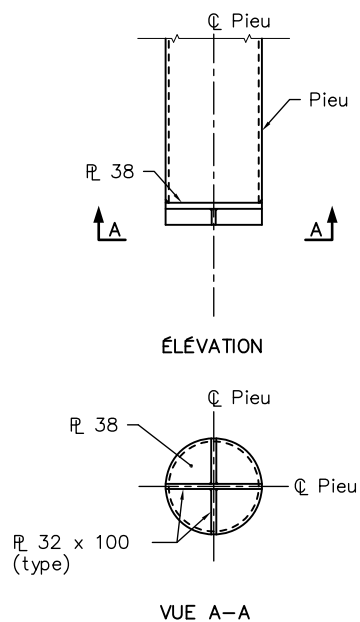
Pointes

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°.

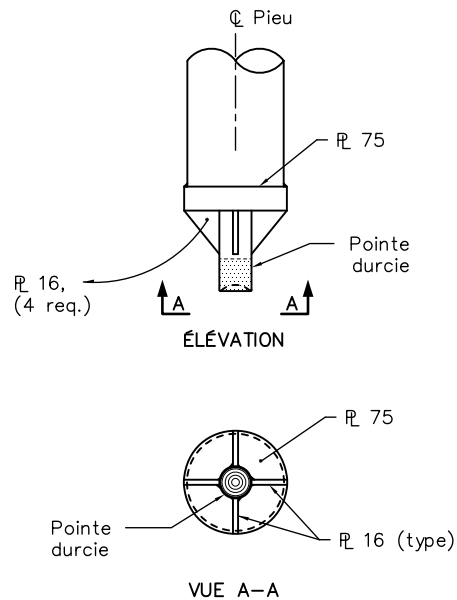
La conception des pointes doit permettre de répartir la charge uniformément sur le pieu tout en ne faisant pas dévier ce dernier lors de l'enfoncement.

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.

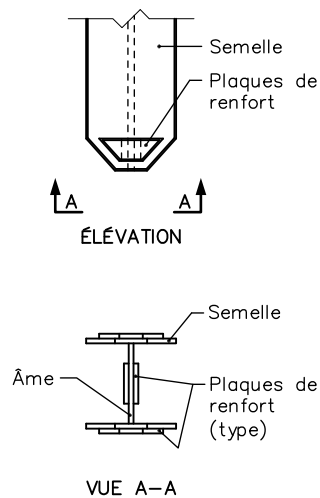
La figure 3.2-1 montre les détails des pointes utilisées par le Ministère; cette figure correspond aux annexes apparaissant dans les plans et devis.



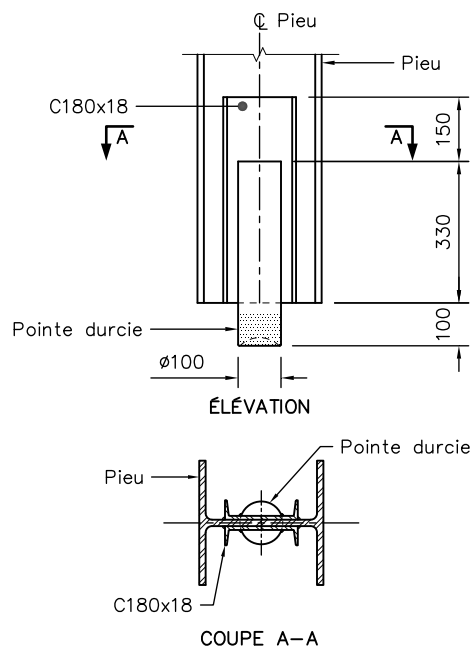
Pointe conventionnelle pour pieu tubulaire



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

Assurance de la qualité

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003). Pour les éléments en béton, en acier ou en bois, le surveillant doit se référer aux chapitres 4 « Ouvrages en béton », 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » ou 8 « Ouvrages en bois » de ce manuel.

Dans le cas des pointes Oslo, le surveillant doit communiquer avec la Direction du laboratoire des chaussées pour réaliser l'assurance de la qualité à l'usine à cause de la procédure très particulière de fabrication de ces pointes.

3.4 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 1,2 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.

3.4.1 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. 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 ferrailage de cette dernière. Tous ces ajouts et modifications sont aux frais de l'entrepreneur. Le surveillant se doit de 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. Mentionnons que le marteau à chute libre est de loin le marteau le plus utilisé par les entrepreneurs; le marteau diesel est, quant à lui, utilisé à l'occasion alors que les marteaux à air ou à vapeur sont très peu utilisés.

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 fonder, la résistance géotechnique à obtenir et la nature du sol. Cette masse est soulevée par un câble et guidée par la jumelle. Mentionnons que la masse en acier utilisée couramment est de l'ordre de 2 000 à 2 500 kg.

Le marteau diesel est principalement constitué d'un cylindre et d'un piston. Son fonctionnement est similaire à celui du cylindre d'un moteur diesel dans lequel l'énergie potentielle de combustion du carburant est transformée en énergie cinétique d'impact par le mouvement du piston. Ce dernier repousse le carburant dans la coupelle de l'enclume lors de sa descente; sous l'impact du piston, il se produit une explosion qui projette le piston vers le haut et l'amène à exercer alors une action sur le pieu. Selon la résistance à l'enfoncement du pieu, l'importance de l'impact sur le pieu varie; si la résistance est faible, l'enfoncement du pieu est important et la course du piston diminue; au contraire, si la résistance est forte, l'inverse se produit.

Comme pour les marteaux à air ou à vapeur, il existe des marteaux diesel à simple ou à double action. Dans le cas d'un marteau à double action, la remontée du piston provoquée par l'explosion du carburant est contrôlée, puisque le cylindre est fermé à son extrémité supérieure; la cadence de frappe est donc deux fois plus élevée que celle d'un marteau à simple action comparable.

Les marteaux à air ou à vapeur sont principalement formés d'un cylindre et d'un piston. Le piston constitue la masse frappante et il effectue un mouvement de descente et de remontée à l'intérieur du cylindre. La remontée du marteau se fait sous l'action de l'air comprimé ou de la pression de la vapeur alors que la chute du piston est libre ou assistée. Dans le cas d'un marteau à simple action, la chute du marteau est libre tandis que dans le cas d'un marteau à double action, l'effet de la gravité sur la chute du marteau est accentué par la pression du fluide moteur sur l'extrémité supérieure du piston. Le marteau à double action a généralement une masse frappante moindre et une cadence de frappe plus élevée que le marteau à simple action comparable.

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.

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 se doit de 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 de réduire l'énergie de battage pour ne pas endommager le pieu et surtout pour éviter que le pieu dévie de sa trajectoire. Les parties 3.4.1.1 « Pieu en acier » et 3.4.1.2 « 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/m³.

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 parties 3.4.1.1 « Pieu en acier », 3.4.1.2 « Pieu en bois » et 3.4.1.3 « 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 des pieux », 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 3.4-1).

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 au chantier est souvent effectué sur le premier pieu foncé après la réalisation des essais de résistance géotechnique sur ce pieu; cette façon de faire permet de connaître avec plus de précision le critère de refus et d'ajuster le battage en conséquence dès le début des travaux. Une fois ce critère de refus établi 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 le critère de refus théorique ne correspond pas à la capacité requise des pieux.

De plus, dans le cas d'un sol fin et dense et lorsque cela est indiqué au devis spécial, les premiers pieux enfoncés doivent être rebattus après un délai d'attente d'au moins 24 heures après l'atteinte du refus de ces pieux. Cette exigence est nécessaire pour tenir compte du phénomène de relaxation associé à ce type de sol. Le critère de refus à utiliser est celui mesuré à la suite des essais pour déterminer la résistance géotechnique. Si les résultats du rebattage sont conformes aux exigences, il n'est pas nécessaire de rebattre l'ensemble des pieux.

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 des pieux ». 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 établi 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 dans les plans et devis. 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 généralement que 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. Lorsque l'enfoncement devient nul 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 nul 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 », 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. 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 au géotechnicien 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 3.4-2).

Le surveillant doit soigneusement noter l'information relative au battage de chaque pieu sélectionné directement sur le formulaire V-1876 « Journal de fonçage ». 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.

3-14

Transports Québec

JOURNAL DE FONÇAGE

N° de dossier	N° de plan PO-	Date des travaux	N° d'unité de fondation	N° de pieu
Entrepreneur		Sous-traitant		

Pieu

Description du pieu	Niveau d'arasement _____ m
Critères de refus théorique	
Enfoncement _____ mm	Nombre de coups _____ Énergie par coup _____ J

Marteau

À chute libre

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

À air ou à vapeur

Masse _____ kg	Énergie par coup _____ J	Hauteur de chute _____ mm
Nombre de coups par minute _____	Capacité du compresseur ou de la bouilloire _____	
Pression de l'air _____	Diamètre du boyau _____	

Diesel

Masse _____ kg	Énergie par coup _____ J

Enfoncement				Enfoncement (suite)			
Enregistrement n°	Nombre de coups	Enfoncement (mm)	Hauteur de chute (mm)	Enregistrement n°	Nombre de coups	Enfoncement (mm)	Hauteur de chute (mm)
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			

Croquis de localisation du pieu

Signature _____ Date _____

V-1876 (2007-01)

Figure 3.4-2 Formulaire V-1876 « Journal de fonçage »

3.4.1.1 Pieu en acier

Pour le pieu en acier, qu'il soit tubulaire ou en H, l'énergie maximale de battage est limitée à 4,2 joules (J)/mm² de section d'acier du pieu.

Voici un exemple d'application :

Considérons un pieu en H de 250 mm dont la limite élastique de l'acier est de 350 MPa, ayant une section de 10 900 mm² et battu avec un marteau de 2 000 kg, on obtient une énergie maximale de battage de 45 780 J, ce qui correspond à une hauteur de chute maximale de 2,33 m. En effet :

$$\begin{aligned} E_{\max} &= 4,2 \times 10\,900 = 45\,780 \text{ J} \\ h &= E \div Mg = 45\,780 \div (2\,000 \times 9,81) = 2,33 \text{ m} \end{aligned}$$

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 % par ultrasons sur au moins 25 % des joints par une entreprise reconnue, de façon à garantir leur qualité.

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 », 4^e paragraphe, 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.

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 se doit de consulter le concepteur.

Pieu en acier tubulaire rempli de béton

Le pieu mixte composé d'un tube en acier foncé puis bétonné est parfois 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 tous les cas, 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.

3.4.1.2 Pieu 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 :

$$E_{\max} = 80 \times 150 = 12\,000 \text{ J}$$

$$E = Mgh \text{ d'où } h = E \div Mg = 12\,000 \div (2\,000 \times 9,81) = 0,612 \text{ m} = 612 \text{ mm}$$

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 :

$$E_{\max} / \text{mm} = 125 \times 150 = 18\,750 \text{ J} / \text{mm}$$

$$\text{Enfoncement minimal par coup} = 12\,000 \text{ J} \div 18\,750 \text{ J} / \text{mm} = 0,64 \text{ mm}$$

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.

3.4.1.3 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.

Le pieu caisson peut avoir un diamètre allant de 1 000 mm à plus de 3 000 mm; la profondeur de l'emboîture varie en fonction de la nature du roc et de la capacité portante à obtenir. Le pieu caisson est toujours foncé à la verticale.

Le pieu caisson est peu utilisé comparativement au pieu en acier tubulaire; il est donc moins connu. Sa mise en place requiert par contre 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.

Il est exigé au CCDG que les travaux relatifs à ce type de pieu 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 récente dans la mise en œuvre de pieux caissons, soit présent 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 nouvelles exigences du CCDG sont nécessaires afin de s'assurer que l'entrepreneur a vraiment les connaissances requises pour mener à bien ces travaux spécialisés. 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 se doit de consulter au besoin le géotechnicien du Ministère en cas de doute.

Enfoncement

Il faut d'abord vérifier la localisation du pieu 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, 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 est très importante pour assurer la stabilité de l'ouvrage. Pour la vérification de la localisation et de la verticalité du pieu 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 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. Cette exigence du CCDG s'impose afin que toute déviation du pieu 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 est enfoncé par battage, mais l'énergie nécessaire est inférieure à celle des pieux battus parce que le sol à l'intérieur du tube est excavé au fur et à mesure de l'enfoncement du tube. Mentionnons qu'un vibrofonceur peut être utilisé pour le fonçage des pieux caissons.

L'excavation à l'intérieur du tube se fait généralement au fur et à mesure de l'enfoncement du pieu; 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.

Une fois le socle rocheux atteint, il faut vérifier que le tube est bien foncé jusqu'au roc sain; cette vérification peut être faite au moyen d'une perche ou d'une pesée attachée au bout d'une corde. Il faut enlever au besoin tout le roc effrité qui se trouve au-dessus du roc sain.

Emboîture

L'emboîture est une excavation effectuée dans le roc sain sous le niveau du tube du pieu caisson afin d'ancrer adéquatement celui-ci. La profondeur de l'emboîture est indiquée dans les plans et devis; mentionnons que la profondeur est habituellement de quelques mètres. L'emboîture est réalisée au moyen d'un trépan ou d'une foreuse. Lorsqu'un trépan est utilisé, les débris de roc sont retirés du tube au moyen de l'excavatrice à clapet.

L'emboîture est réalisée une fois que le tube est appuyé sur tout son pourtour sur 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 roc du fond et les dépôts de forage.

De façon exceptionnelle et lorsque cela est demandé au devis spécial, un contrôle par forage du roc du fond de l'emboîture doit être effectué par l'entrepreneur sur une profondeur minimale de 3 m, ou 2 fois le diamètre du tube si cette valeur excède 3 m,

en contrebas du fond pour en vérifier la qualité. Le forage, de calibre N, est réalisé par une firme spécialisée en forage retenue par l'entrepreneur; cette firme est elle-même supervisée par un laboratoire enregistré. Bien que l'entrepreneur puisse faire ce forage avant ou après la réalisation de l'emboîture, il peut arriver que les plans et devis demandent de faire le forage après l'achèvement de l'emboîture lorsque les caractéristiques du roc l'exigent. Le surveillant doit veiller à ce que ce forage atteigne bien la profondeur spécifiée. Les travaux dans le pieu caisson sont suspendus jusqu'à ce que le géotechnicien du Ministère analyse le rapport du laboratoire.

Une inspection, pour vérifier la qualité du nettoyage, la qualité du roc et l'encastrement du pieu au roc, doit être ensuite réalisée au moyen d'une caméra vidéo par une entreprise spécialisée dans ce domaine. Pour obtenir une qualité d'image suffisante, il faut cependant attendre que les matériaux en suspension dans l'eau du tube se déposent; lorsque cela ne suffit pas, le surveillant doit exiger la filtration de l'eau si la turbidité ne permet pas une image suffisamment claire. De plus, s'il existe un écoulement de l'eau en dehors du pieu dû à une pression artésienne empêchant de diminuer la turbidité de l'eau, il est exigé au CCDG d'ajouter une section de tube suffisamment longue au-dessus du pieu pour augmenter le niveau de l'eau dans le tube au-dessus du niveau statique. Ce nettoyage se fait par ajout suffisant d'eau claire au fond du pieu. 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 égal à celui du caisson sur toute la hauteur de l'emboîture. Il doit aussi s'assurer que le roc en place n'est pas fracturé et 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 se doit de consulter le concepteur afin de vérifier si le roc a bien la capacité prévue lors de la préparation des plans et devis.

Une fois l'emboîture terminée, le forage de contrôle jugé satisfaisant (lorsque celui-ci est requis) et l'inspection achevée, le nettoyage du pieu et de l'emboîture doit être fait, 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 tube, puisque beaucoup de pieux caissons ne sont pas étanches; il faut par contre poursuivre le nettoyage jusqu'à ce que l'eau retirée du tube soit claire.

Arasement

Avant de procéder à l'arasement du pieu, 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, il autorise par écrit l'entrepreneur à procéder à l'arasement du pieu.

Armature

Avant d'insérer les cages d'armature dans le pieu, le surveillant mesure 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 aussi vérifier par la même occasion la rigidité des cages d'armature ainsi que la présence des cales rondes de plastique 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 et lorsque celle-ci est à la verticale, le surveillant vérifie que la cage est bien verticale et libre de toute déformation.

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.

Suivi de l'enfoncement

Le suivi de l'enfoncement des pieux caissons doit être effectué autant par l'entrepreneur que par le surveillant. Ce suivi est très important, puisqu'il permet de corriger rapidement toute anomalie concernant la localisation et la verticalité du pieu; si les correctifs ne sont pas apportés rapidement, le problème s'amplifiera et rendra ainsi 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 se doit de 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 des pieux caissons » (voir la figure 3.4-3). 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 un minimum de deux enregistrements par jour. Pour chaque enregistrement, il faut inscrire la date et l'heure de ce dernier ainsi que l'enfoncement et l'excavation mesurés depuis le dernier enregistrement. La déviation du pieu selon les deux axes mentionnés sur le formulaire doit également être mesurée de façon précise et notée. Le surveillant ne doit pas hésiter à suspendre les travaux s'il constate que la déviation du pieu excède les tolérances du CCDG.

Figure 3.4-3 Formulaire V-1877 « Enfoncement des pieux caissons »

Transports Québec		ENFONCEMENT DU PIEU CAISSON			
N° de dossier	N° de plan	Période des travaux	N° d'unité de fondation	N° de pieu s'il y a lieu	
Entrepreneur		PO-	du au		
		Sous-traitant			

Pieu					
Diamètre du tube	Épaisseur de la paroi		Longueur après arasement incluant emboîture		
_____ mm	_____ mm		_____ mm		
Niveau d'arasement	Niveau du roc	Niveau du bas du tube	Longueur de l'emboîture		
_____ m	_____ m	_____ m	_____ m		

Date	Heure	Enfoncement additionnel (m)	Excavation additionnelle (m)	Pente du pieu parallèlement au pont		Pente du pieu perpendiculairement au pont		Déviation ¹ (mm)
				(mm / m) et %	Orientation	(mm / m) et %	Orientation	

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

Croquis de localisation du pieu

Signature _____ Date _____

V-1877 (2007-01)

3.4.2 Résistance géotechnique

La résistance géotechnique des pieux battus, travaillant en friction ou à la pointe, est déterminée par des essais dynamiques, de traction ou de chargement. La résistance géotechnique ultime est définie comme la capacité des sols environnant le pieu à résister à la charge d'essai. La charge d'essai est elle-même définie comme la valeur de la charge ultime indiquée dans les plans, divisée par le coefficient de tenue approprié de la norme CAN/CSA-S6.

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 la même résistance géotechnique, mais il n'est d'aucune utilité pour quantifier cette résistance.

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 se doit de consulter le concepteur.

Choix des pieux d'essai

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'essais de chargement.

L'essai de chargement 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.

Dans tous les cas, les pieux d'essai doivent être choisis parmi ceux pour lesquels le surveillant a rempli le formulaire V-1876 « Journal de fonçage ». 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 résistance géotechnique réalisés au début du fonçage et qu'il ne tient pas compte de leurs résultats. Cependant, il existe une règle de bonne pratique qui consiste à payer et à tenir compte de ce premier essai si le surveillant a choisi lui-même le pieu à tester lorsqu'au moins la moitié des pieux d'une unité de fondation étaient déjà foncés.

Sols argileux

Des phénomènes particuliers peuvent se produire dans les sols argileux et avoir une incidence sur la résistance géotechnique des pieux. Le premier phénomène se produit lorsque l'argile subit un tassement après l'enfoncement des pieux sous les pressions dues au remblai; le sol se tasse au fil des années aux abords des pieux entraînant ces derniers vers le bas. C'est le phénomène de friction négative; ce dernier a été tenu en compte dans la note de calcul.

L'autre cas se produit lors du battage des pieux. Ce battage engendre souvent des pressions interstitielles dans l'argile en raison de la présence de l'eau contenue dans cette dernière. Ces pressions ainsi que le remaniement de l'argile ont pour effet de réduire la résistance géotechnique des pieux. Par contre, ce phénomène est temporaire, puisque ces pressions se dissipent après quelques mois. L'entrepreneur a alors avantage à attendre la dissipation des pressions 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 se doit, par contre, de consulter le concepteur avant d'approuver ce changement à cause des conséquences possibles sur l'ouvrage.

Une autre solution, mentionnée dans le devis spécial, consiste à utiliser des pieux d'essai mis en place en dehors de l'ouvrage à construire. Cette exigence est nécessaire suite au délai d'attente considérable entre l'enfoncement des pieux et l'essai pour déterminer la résistance géotechnique; ce délai est causé par la lente dissipation des pressions interstitielles générées lors du battage. Mentionnons qu'aucun essai de résistance géotechnique n'est alors réalisé sur les pieux de l'ouvrage à construire. 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'essais 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 d'essai.

3.4.2.1 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 d'établir le critère de refus au chantier lors du battage en fonction de la résistance géotechnique à obtenir.

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 spécialisée en géotechnique 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.

a) Matériel et procédure d'essai

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.

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. 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.

b) 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 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 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.

3.4.2.2 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. L'essai de traction est exigé lorsque la résistance à la traction doit être développée par la friction des sols sur le pieu.

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 :

- remettre au surveillant un avis écrit sur le montage proposé par l'entrepreneur;
- remettre au surveillant un avis écrit du montage réalisé après avoir lui-même inspecté le 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 compte tenu 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 3.4-4 montre le montage généralement utilisé.

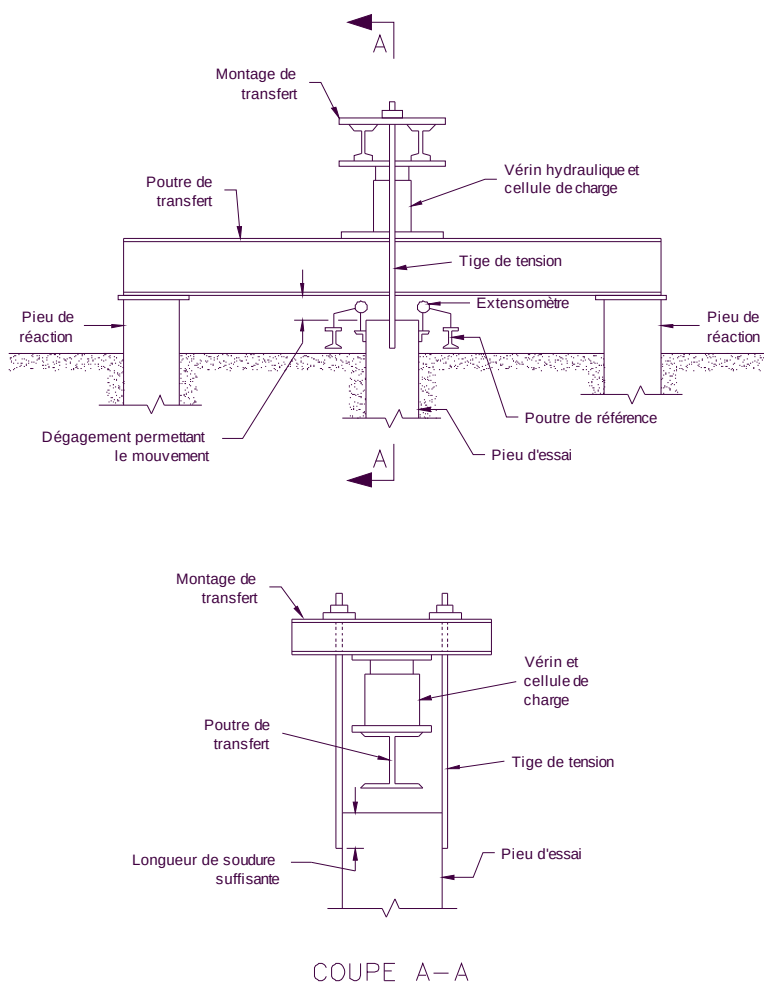


Figure 3.4-4 Montage pour essai en traction – avec un seul vérin

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 3.4.2.3.1 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.

L'interprétation des résultats doit être faite par une personne compétente en géotechnique, soit l'ingénieur en géotechnique de l'entrepreneur mentionné précédemment. 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 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.

3.4.2.3 Essai de chargement

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

- remettre au surveillant un avis écrit sur le montage proposé par l'entrepreneur;
- remettre au surveillant un avis écrit du montage réalisé après avoir lui-même inspecté le 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 compte tenu 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.

Chargement

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 » 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 » 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 », 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 « Données et graphique – Essai de chargement ». Ces deux formulaires sont montrés aux figures 3.4-5 et 3.4-6.

Figure 3.4-5 Formulaire V-2058 « Essai de chargement »

Transports Québec

**DONNÉES ET GRAPHIQUE
ESSAI DE CHARGEMENT**

N° de dossier	N° de plan PO-	Date de l'essai	N° d'unité de fondation	N° de pieu
Entrepreneur		Sous-traitant		

Pieu et vérins	
Description du pieu	
Capacité du vérin	Date du certificat de l'étalonnage

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

Graphique charge – affaissement

Signature _____ Date _____

V-2057 (2007-01)

Figure 3.4-6 Formulaire V-2057 « Données et graphique – Essai de chargement »

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 3.4-7 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.

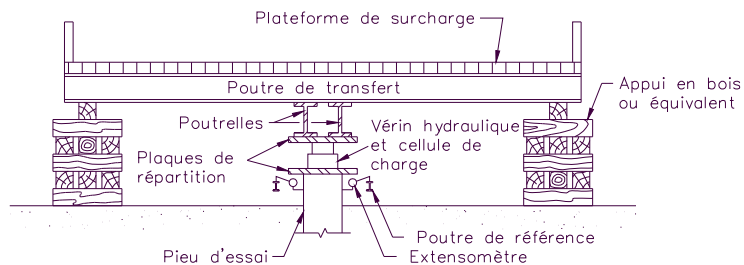
L'entrepreneur doit remettre au surveillant tous les documents relatifs à l'essai de chargement, notamment le plan descriptif du montage, les certificats récents d'étalonnage des manomètres, des vérins, des cellules de charge et des extensomètres qu'il se propose d'utiliser. Les vérins doivent être équipés 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.

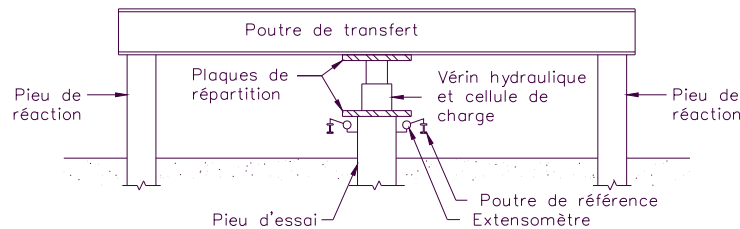
Contrôle des déplacements

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 3.4-7 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, soit l'ingénieur en géotechnique de l'entrepreneur mentionné précédemment. 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 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 se doit de compléter le formulaire V-2057 « Données et graphique – Essai de chargement ». La figure 3.4-8 montre un exemple de graphique « charge – affaissement » complété.

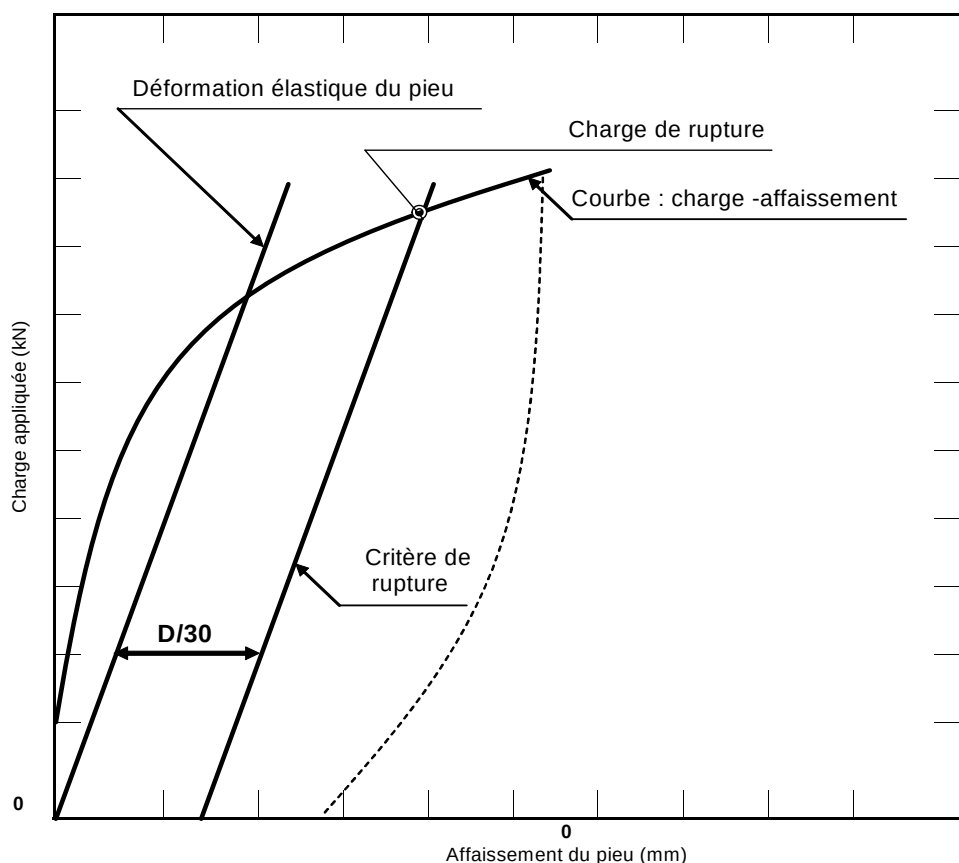


Figure 3.4-8 Représentation d'un graphique « charge – affaissement »

3.4.3 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. 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 se doit de 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



1. Pieux en H



2. Pieux tubulaires en acier



3. Pieu caisson (tube métallisé)



4. Grue, mat et jumelle



5. Casque de battage (coussin et chapeau)



6. Guide d'alignement sur la jumelle



7. Vibrofonneur



8. Cadre pour la mise en place d'un pieu caisson



9. Clapet pour excaver l'intérieur d'un pieu caisson



10. Trépan pour la réalisation de l'emboîture



11. Repères pour localisation des pieux



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

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



13. Contrôle de la pente des pieux battus



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



15. Mesure de l'enfoncement d'un pieu battu



16. Instrumentation d'un pieu pour l'essai dynamique



17. Essai dynamique : jauge de déformation et accéléromètre



18. Essai dynamique : analyseur de battage

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



19. Essai de chargement : banc ancré sur pieux adjacents



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



21. 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

EXIGENCES DE CONCEPTION

- ❖ Voir CCDG (à l'intention du concepteur)

MATÉRIAUX

Acier

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

Béton

- ❖ Type XI (pieux tubulaires) ou type V (pieux caissons) selon norme 3101 du Ministère
- ❖ Béton autoplaçant de construction conforme au béton autoplaçant de réparation de la norme 3101 du Ministère et devis spécial (gros granulats 5-14)
 - S'il y a de l'eau à l'intérieur des pieux caissons
 - Lorsque pas de vibration interne du béton

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

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

Pointes

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

Assurance de la qualité

- ❖ Voir chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).
- ❖ **Pointes Oslo** : mandater la Direction du laboratoire des chaussées 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 1,2 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
- ❖ 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 : 4,2 joules (J)/mm²
 - 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/m³)
 - 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)

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

- Pieu en acier
 - Soudures bout à bout pleine pénétration : selon les exigences du chapitre 7 de ce manuel (vérifiées à 100 % par ultrasons sur au moins 25 % des joints)
 - o Joints soudés perpendiculairement à l'axe des pieux
 - o 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
- 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
- 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
 - o Par séries de coups de marteau (nombre de coups par série : selon critère de refus)
 - o Rebattage des pieux lorsque cela est demandé au devis spécial (délai d'attente de 24 heures)
 - Fonçage jusqu'au roc
 - o Ne pas confondre le socle rocheux avec un bloc ou un sol dense
 - o Arrimage au roc lorsque requis dans le devis spécial (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 des pieux » et V-1876 « Journal de fonçage »
 - o V-2056
 - Une ligne à remplir pour chaque pieu
 - o 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
- ❖ Pieux caissons
 - Firme spécialisée dans le domaine
 - Ingénieur spécialisé en géotechnique (présent aux phases critiques et rapport à faire)
 - Localiser les pieux avant le battage (repères à installer)
 - 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)
 - Soudure bout à bout pleine pénétration
 - Selon les exigences du chapitre 7 de ce manuel (vérifiées à 100 % par ultrasons)
 - 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
 - Une fois le socle rocheux atteint

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

- 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
 - o Déviation de l'axe : < 2 %
 - o Écart de la tête : < 100 mm
- Impossibilité de ramener un pieu à l'intérieur des tolérances de position et de verticalité
 - o Arrêter les travaux
 - o Consulter le concepteur
- Emboîture
 - Profondeur indiquée dans les plans (à mesurer avec une chaîne et une pesée)
 - Réalisée qu'une fois le tube appuyé sur le roc sain sur tout son pourtour
 - Réalisée au moyen d'un trépan ou d'une foreuse
 - Contrôle par forage du roc du fond de l'emboîture (lorsque demandé au devis)
 - o À faire par entrepreneur (entreprise de forage supervisée par laboratoire enregistré)
 - o Profondeur de 3 m ou de 2 fois le diamètre du tube
 - o 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
 - Inspection de l'emboîture au moyen d'une caméra vidéo (eau à filtrer au besoin)
 - o Vérifier diamètre, qualité du roc (si roc fracturé, consulter concepteur)
 - Nettoyer le pieu et l'emboîture (enlever eau et dépôts; pour pieu non étanche : jusqu'à ce que l'eau soit claire, ajouter section de pieu si nécessaire)
- 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
 - o Longueur de la cage d'armature avec la profondeur du fond de l'emboîture
 - o Longueurs de chevauchement
 - o Rigidité de la cage d'armature
 - o Présence de cales rondes en plastique : 1,2 m c/c (enrobage conforme)
- Bétonnage
 - Selon les exigences du chapitre 4 du présent manuel
 - o Ne pas oublier d'utiliser une trompe ou de descendre le conduit de la pompe jusqu'au fond du pieu
 - o Suivre les exigences du bétonnage sous l'eau
 - o Utiliser béton autoplaçant de construction si vibration interne pas possible
 - o Bétonnage sous l'eau (mise en place)
- 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 des pieux caissons »
 - o Un formulaire à remplir pour chaque pieu
 - o 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 d'essai 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

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

- ❖ 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
 - 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 :
 - o Pieux additionnels ou plus longs
 - o Pieux d'essai 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)
 - o Essai sur le tube seul
 - o 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
 - 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
 - Montage selon la norme
- ❖ Essai de chargement
 - 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

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

- 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
 - o Plate-forme installée sur la tête du pieu : prévoir une légère surcharge
 - o Plaques de répartition en acier : épaisseur > 50 mm
 - Extensomètres
 - o Installés à 180° l'un de l'autre
 - o Fixés à une poutre repère dont les supports sont à au moins 2,5 m du pieu d'essai
 - o Utiliser le niveau d'arpentage comme deuxième méthode de contrôle
- Chargement
 - Selon des paliers (accroissements de 6 % de la charge d'essai)
 - Chaque accroissement de charge se fait toutes les 10 minutes
 - o Affaissement du pieu à mesurer tout juste avant et tout juste après l'accroissement
 - o 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
 - o Rebondissement du pieu à mesurer tout juste avant et tout juste après décroissement
 - o 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 »
 - 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 « Données et graphique – Essai de chargement »
 - Essai jugé acceptable si la résistance géotechnique de chaque pieu supérieur 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'horizontal et à l'élévation prévue dans les plans
- ❖ 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

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

CHAPITRE 4

OUVRAGES EN BÉTON

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	4-1
4.1 MATÉRIAUX	4-3
4.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ	4-3
4.3 MISE EN ŒUVRE	4-8
4.3.1 Coffrages	4-10
4.3.2 Étalement	4-30
4.3.3 Armature	4-33
4.3.4 Ancrages	4-54
4.3.5 Béton	4-56
4.3.6 Imperméabilisation du béton	4-125
4.3.7 Bétonnage par temps chaud	4-128
4.3.8 Bétonnage par temps froid	4-131
4.3.9 Bétonnage sous l'eau	4-142
TABLEAUX	
Tableau 4.3-1 Tolérances de construction du béton coulé en place	4-15
Tableau 4.3-3 Caractéristiques de l'armature (nomenclature en mesures impériales)	4-34
Tableau 4.3-4 Marques d'identification des aciéries canadiennes détenant un certificat ISO	4-36
Tableau 4.3-5 Rayon de courbure minimal	4-37
Tableau 4.3-6 Tolérances de pose de l'armature	4-43
Tableau 4.3-7 Type de protection à utiliser pour tous les éléments de pont, sauf les dalles sur poutres, les dalles épaisses, les tabliers en béton précontraint par post-tension et les portiques	4-139
Tableau 4.3-8 Type de protection à utiliser pour une dalle sur poutres	4-140
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	4-141

FIGURES

Figure 4.3-1	Terminologie d'un coffrage	4-12
Figure 4.3-2	Localisation d'attaches de coffrages – coffrages de grandes dimensions	4-13
Figure 4.3-3	Attaches de coffrage	4-19
Figure 4.3-4	Support métallique et selle ajustable en hauteur	4-21
Figure 4.3-5	Démolition – Dessus de poutre en béton armé	4-23
Figure 4.3-6	Tirant type	4-25
Figure 4.3-7	Terminologie d'un étalement	4-31
Figure 4.3-8	Cales types en plastique	4-42
Figure 4.3-9	Tolérances de pose de l'armature – exemple d'une poutre	4-44
Figure 4.3-10	Formulaire – Mise en place de l'armature	4-51
Figure 4.3-11	Ancrage pour réparation avec coffrages et surépaisseur	4-54
Figure 4.3-12	Bétonnage d'un élément élancé	4-70
Figure 4.3-13	Contrôle de déflexion d'un étalement lors du bétonnage d'un tablier	4-72
Figure 4.3-14	Gousset type	4-82
Figure 4.3-15	Positions du vibreur dans un coffrage vertical	4-111
Figure 4.3-16	Bétonnage par temps froid – protection de type 3	4-138

PHOTOGRAPHIES	4-145

AIDE-MÉMOIRE	4-153

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 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 : *Falsework for Construction Purposes*
- CAN/CSA-S269.3 : Coffrages
- CAN/CSA A23.1 : Béton – Constituants et exécution des travaux
- ASTM C 685 : *Specification for Concrete Made by Volumetric Batching and Continuous Mixing*
- 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 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 émises par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ). Rappelons que le lien vers le BNQ se trouve sur le site intranet de la Direction de la recherche et de l'environnement.

4.1 MATÉRIAUX

La Direction du laboratoire des chaussées publie annuellement la « Liste des matériaux relatifs au béton de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle se trouve 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.

Il est recommandé de lire le document intitulé *Description des différents types de béton de ciment en usage au MTQ* afin d'en apprendre plus sur les bétons utilisés au Ministère. Ce document est disponible dans le site intranet de la Direction du laboratoire des chaussées au point 6 de l'onglet « autres publications ».

4.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux et à la certification des éléments en béton préfabriqué doit être faite selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

Mentionnons tout de même certaines informations utiles concernant l'assurance de la qualité du béton, des armatures et de la bétonnière mobile.

Mentionnons aussi que la Direction du soutien aux opérations publie le *Guide du contrôle de la qualité du béton de ciment* qui couvre tous les aspects techniques du contrôle de la qualité du béton.

Il est de la responsabilité de l'entrepreneur d'établir les proportions du mélange de béton de façon à obtenir 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.

Essai de convenance

Un essai de convenance doit être réalisé lorsque du béton de type XIII est employé dans la construction d'un ouvrage. Il est aussi exigé au devis spécial que le béton autoplaçant de construction fasse l'objet d'un essai d'essai de convenance; essai qui n'est pas nécessaire pour le béton autoplaçant de réparation. 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 de s'assurer des caractéristiques du béton après pompage. Mentionnons qu'il serait avisé de profiter de l'occasion pour vérifier le temps de prise du béton lorsqu'il est prévu d'utiliser un superplastifiant à base de polycarboxylate (voir la partie 4.3.5 « Béton » de ce chapitre pour en connaître plus à ce sujet).

Cet essai est exigé systématiquement pour ces 2 types de béton en raison de la nature plus complexe de ces bétons.

L'essai de convenance doit être représentatif des conditions de mise en place prévues au chantier. Il n'est réalisé au moyen d'une pompe à béton que lorsque l'entrepreneur prévoit effectuer le bétonnage de l'ouvrage avec ce genre d'équipement. Le surveillant ne peut pas obliger l'entrepreneur à utiliser une pompe pour faire l'essai de convenance si ce dernier prévoit utiliser un autre moyen pour bétonner l'ouvrage; le surveillant et l'entrepreneur doivent donc s'entendre sur le mode de mise en place du béton avant de réaliser l'essai de convenance.

La pompe utilisée lors de l'essai de convenance doit 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 33 %;
- section en « S » formée de 2 coudes à 45° d'au moins 275 mm de longueur chacun;
- dispositif de fermeture.

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 peut s'effectuer dans la semelle de l'ouvrage à construire, car celle-ci est un élément de pont peu affecté par les intempéries d'où le peu de conséquences d'un béton ne rencontrant pas les exigences d'un béton de type XIII, puisque les caractéristiques de celui-ci seront fort probablement supérieures à celles d'un béton de type V.

L'essai de convenance est effectué par l'entrepreneur; les essais réalisés sur le béton plastique et durci par le laboratoire sont aux frais de l'entrepreneur.

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 Contrecoeur) 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. Dorénavant, le surveillant n'a plus qu'à se soucier que l'armature réellement livrée au chantier provient bien de l'usine canadienne identifiée par l'entrepreneur.

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 m³ par chargement, ce qui correspond à une production horaire maximale avoisinant les 15 m³ 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 de réparation (bétons de type XIV-R et XIV-S) et de construction ainsi que le béton antiessivage (béton de type XV). Dans le cas du béton projeté par procédé humide, la bétonnière mobile ne sert généralement que de moyen de mise en place puisque le mélange lui-même est fabriqué dans une centrale de dosage conventionnelle.

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 protocole de certification NQ 2621-905 « Bétons de masse volumique normale et constituants – Protocole de certification ».

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/m^3 . La bétonnière mobile, contrairement aux autres méthodes de production, produit du béton selon un processus en continu. Une conversion du dosage volumétrique en kg/m^3 (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/m^3 de liant, 1000 kg/m^3 de gros granulats et 800 kg/m^3 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 parties 4.3.1 « Coffrages » et 4.3.3 « Armature ».

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 de l'article « Exigences générales » du devis spécial. 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.

Éléments en béton préfabriqués

Une réunion préalable à la fabrication des éléments en béton préfabriqués, 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 direction territoriale du lieu d'emplacement de l'usine lorsque la fabrication se fait en dehors des limites de la direction territoriale du surveillant. La présence du représentant de la direction territoriale du lieu d'emplacement de l'usine 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 chacune des directions territoriales, il est impossible que chaque direction 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 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.

4.3.1 Coffrages

Conception des coffrages

La conception et la mise en place des coffrages doivent respecter la norme CAN/CSA-S269.3. 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 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.

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 cela est requis dans le devis spécial. Cette exigence 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. 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, lorsque cela est requis dans le devis spécial. 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.

La note de calcul doit 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-R, XIV-S 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 la température 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.

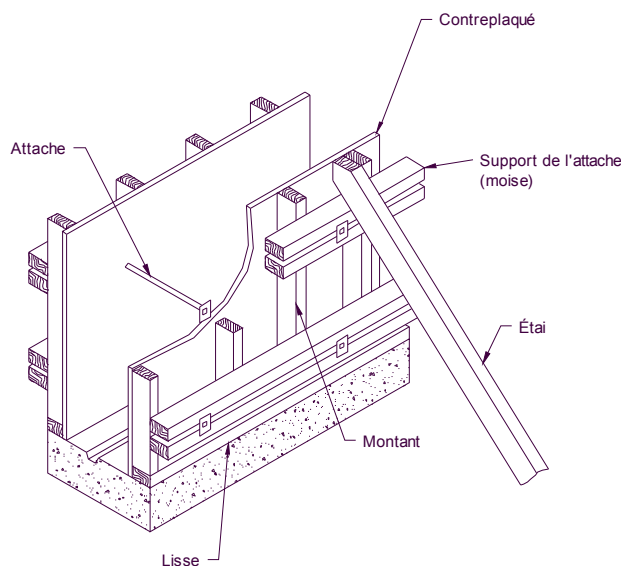


Figure 4.3-1 Terminologie d'un coffrage

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 devis spécial 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.

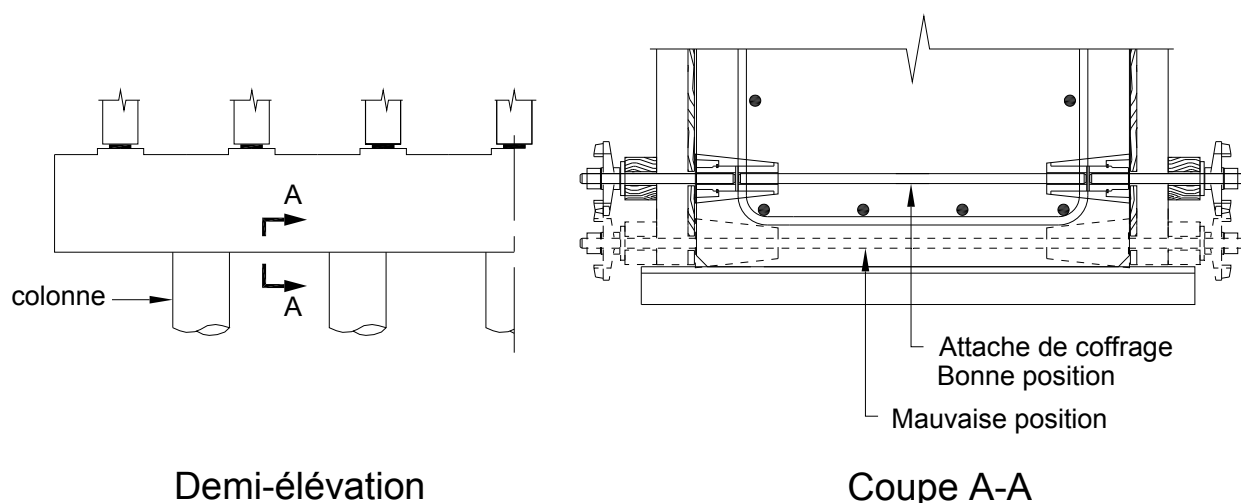


Figure 4.3-2 Localisation d'attaches de coffrages – coffrages de grandes dimensions

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 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 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 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'étalement 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 1,2 m verticalement et d'au plus 2,4 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 10 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	± 8 mm
Plus de 300 mm et moins de 1000 mm	± 12 mm
Égal ou plus de 1 000 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.)

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 de réparation (bétons de type XIV-R et XIV-S) ou de construction, il peut être nécessaire d'employer une mousse expansive pour boucher le moindre interstice compte tenu de la grande fluidité de ce type 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 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. 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.

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 longue 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 plus 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 devis spécial s'impose compte tenu de la faible épaisseur de l'enrobage de béton au-dessus des attaches. Comme il n'est pas possible de visser le cône en plastique sur des attaches galvanisées à chaud ayant un diamètre inférieur à 19 mm, il est spécifié au CCDG des attaches galvanisées ayant ce diamètre.

Il est fortement recommandé au surveillant de ne pas accepter des attaches de plus petit diamètre 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.

De plus, il est exigé au devis spécial que les attaches doivent être 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'infilte 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.

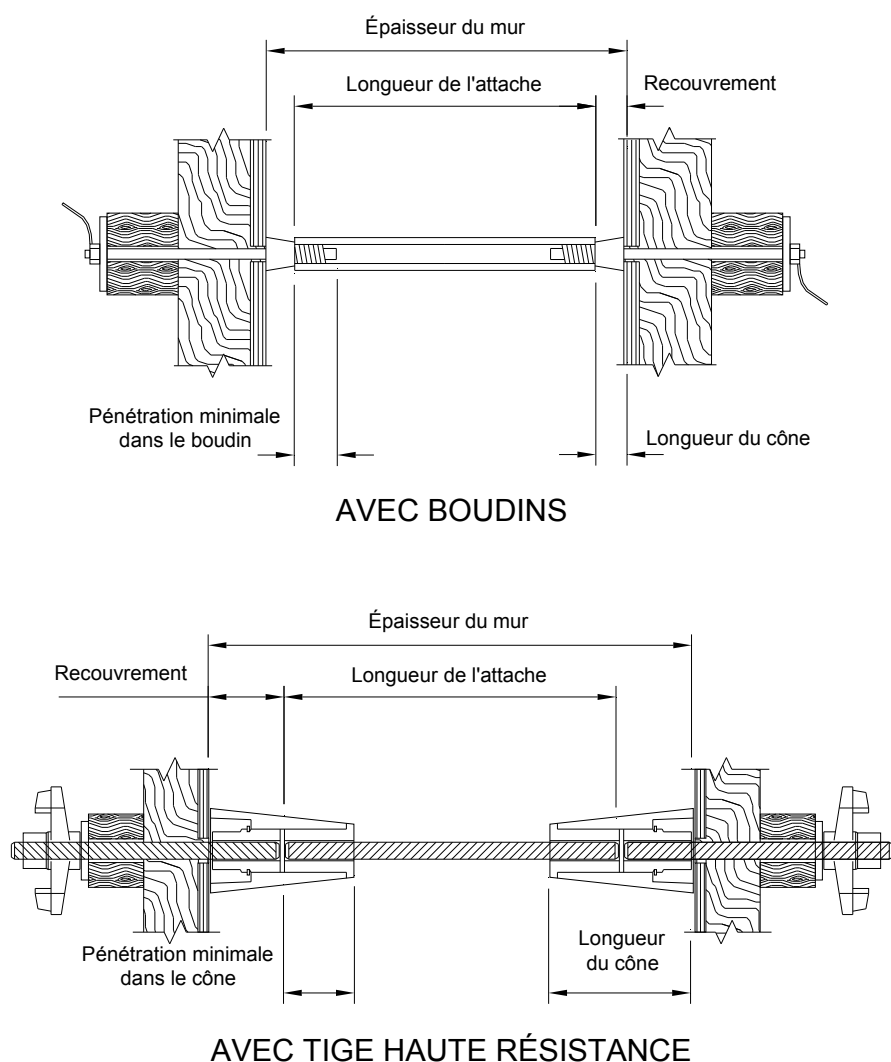


Figure 4.3-3 Attaches de coffrage

Les attaches doivent être disposées sur une même ligne verticale pour faciliter la mise en place du béton et améliorer l'esthétique de l'ouvrage construit.

Aucune attache de coffrage ne doit être placée dans le béton pour retenir les coffrages des glissières, chasse-roues ou trottoirs, puisque ces éléments sont très exposés aux sels de déglacage. 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 parasites 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 de ces ouvrages au béton du dessus de la dalle, le devis spécial exige 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 du devis spécial est nécessaire pour préserver la durabilité de la dalle à ces endroits. Mentionnons que, pour les mêmes raisons, il est interdit au CCDG interdit de fixer ces attaches sur le côté extérieur de la dalle.

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.

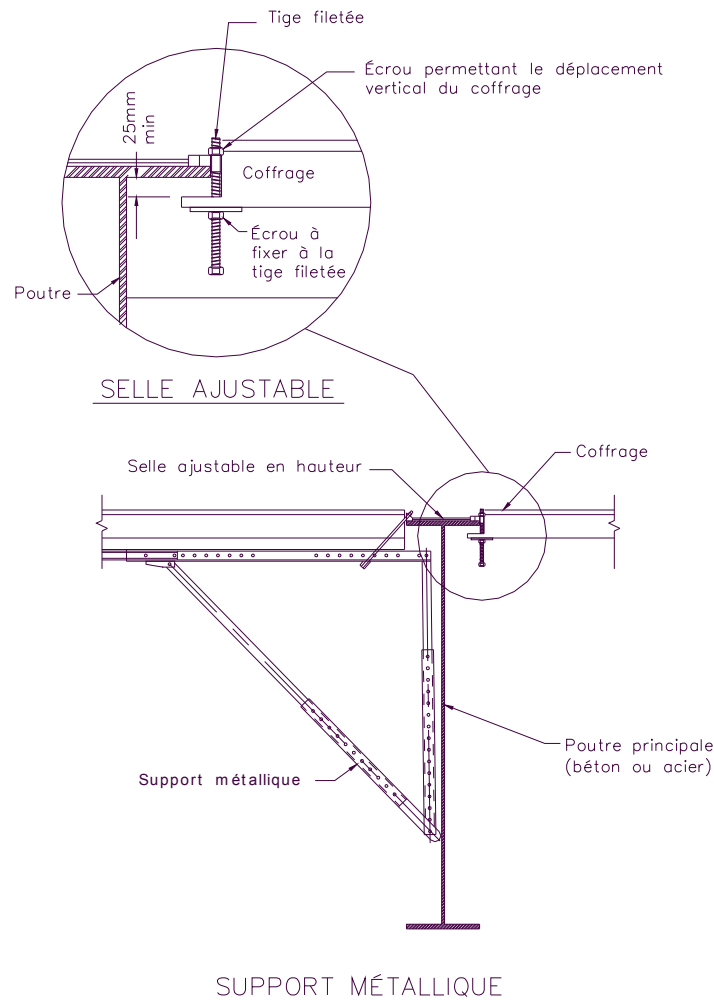


Figure 4.3-4 Support métallique et selle ajustable en hauteur

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.

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.

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. 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.

Dans le cas d'une reconstruction de dalle sur des poutres en béton existantes, il est nécessaire que le profil de démolition du béton sur le dessus de la poutre soit suffisamment horizontal pour permettre le passage de la tige horizontale des selles. Il faut surtout veiller à ce que le dessus du béton démoli près des bords de la poutre soit horizontal pour favoriser l'appui sécuritaire des selles. La figure 4.3-5 illustre une façon de faire qui est acceptable dans le cas où il s'avère impossible d'abaisser suffisamment le profil de démolition du dessus de la poutre.

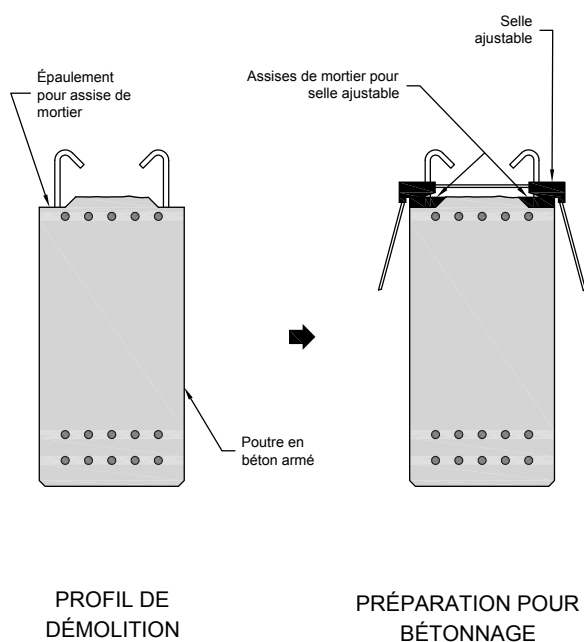


Figure 4.3-5 Démolition – Dessus de poutre en béton armé

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 goudjons 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. Il est précisé au devis spécial 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. 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.

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.

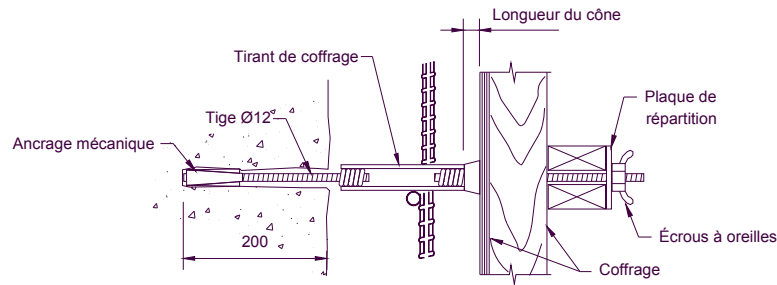


Figure 4.3-6 Tirant type

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 partie 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. Ces exigences apparaissent à l'article « Exigences générales » du devis spécial et aux plans.

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 ou à des poches d'air. 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.

Sur certaines surfaces intérieures des coffrages, définies dans le devis spécial, une doublure de coffrage doit être employée. Les surfaces habituellement couvertes d'une doublure de coffrage sont celles qui sont fortement exposées aux éléments. Mentionnons que lorsqu'une doublure de coffrage est exigée à l'intérieur du coffrage d'une glissière, cela n'inclut pas le côté extérieur de la dalle située sous la glissière. Mentionnons aussi qu'aucune doublure de coffrage n'est exigée lorsqu'un béton autoplaçant de réparation (bétons de type XIV-R et XIV-S) ou de construction est employé, car ce type de béton permet d'obtenir une surface plus uniforme.

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 de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle se trouve 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.

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, 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. Les chanfreins servent aussi à positionner adéquatement le niveau final du béton dans les coffrages.

Un chanfrein est également requis sur la face extérieure du joint de construction localisé entre la dalle et les chasse-roues, trottoirs 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'infilte à l'arrière d'elles.

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 presque toujours 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 partie 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 jours, les exigences relatives à la cure du béton s'appliquent. 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.

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 de réparation (bétons de type XIV-R et XIV-S) ou de construction doit être effectué avec beaucoup de précautions, compte tenu du développement plus lent de la résistance associé à ce genre de béton.

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. 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.

Une fois l'enlèvement des coffrages d'une culée 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 devis spécial (côté remblai. bande de 300 mm, etc.). 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.

4.3.2 Étalement

Le terme « étalement » est appliqué de façon générale à une structure temporaire servant à supporter un coffrage. Les étalements sont parfois désignés sous le vocable « fausses charpentes ».

L'étalement 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.

Conception de l'étalement

La conception et la mise en place de l'étalement doivent respecter la norme CSA-S269.1. L'entrepreneur est tenu de s'y conformer afin de s'assurer que la capacité de l'étalement 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 étalement 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'étalement mais non spécifiquement mentionnées précédemment, devraient être inscrites sur le plan de l'étalement. De plus, compte tenu de l'importance du sol dans la capacité d'un étalement, la nature et la capacité du sol devant lui servir d'appui devraient également figurer sur le plan de l'étalement.

La valeur de l'affaissement de l'étalement 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'étalement. 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'étalement, celui-ci ne devrait pas être utilisé.

La figure 4.3-7 montre un étaieement type et la terminologie employée pour désigner ses différentes parties.

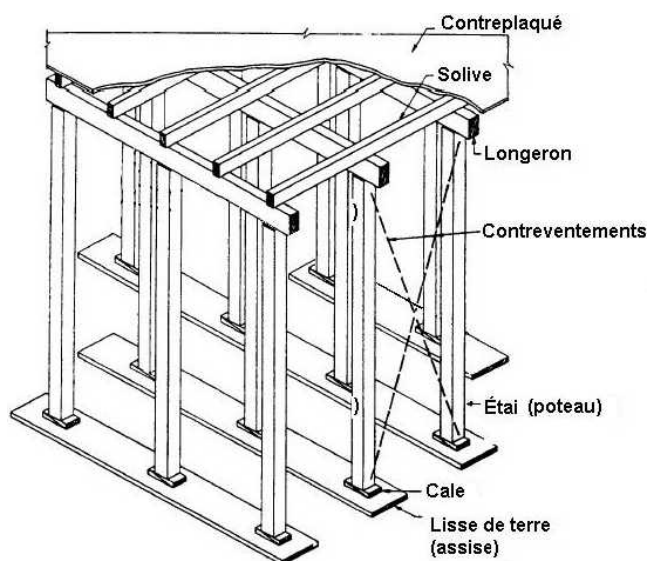


Figure 4.3-7 Terminologie d'un étaieement

Approbation des documents

Le plan de l'étaieement 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'étaieement 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 fins spécifiées dans le 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'étaieement 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'étaieement

La plupart des problèmes relatifs à un étaieement 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'étalement semble conforme aux exigences du plan; cette vérification devrait être faite au tout début de la mise en place de l'étalement. Il faut aussi qu'il veille à ce que les assises de l'étalement soient stables et suffisamment éloignées d'un sol en pente. Le sol sous les assises de l'étalement doit aussi être bien drainé afin d'éviter toute perte de capacité lors d'une pluie ou d'un autre événement semblable. Si l'étalement est construit sur un sol gelé, il faut s'assurer que l'enlèvement de l'étalement 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'étalement 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'étalement en cas de dégel hâtif.

Le rôle du surveillant consiste ensuite à observer les travaux de mise en place de l'étalement. 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'étalement 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 étalements 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'étalement.

Lorsque la mise en place de l'étalement 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'étalement. Cet avis doit faire référence au plan de l'étalement soumis ou, le cas échéant, au plan révisé lors de la mise en place de l'étalement. L'avis doit être remis au surveillant avant le bétonnage. Mentionnons que l'inspection de l'étalement 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 étalement 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 10.3.5.2.1 « 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 direction territoriale concernée, chargé d'informer la personne en charge de l'attribution des permis spéciaux à la Direction des structures, 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 parasites. L'étalement et les coffrages, par exemple, ne doivent pas entraver la déformation de la structure lors de cette opération.

Enlèvement de l'étalement

L'étalement peut être enlevé seulement lorsque le béton de l'ouvrage a atteint 70 % de sa résistance à la compression spécifiée à 28 jours, sauf dans le cas d'un tablier en béton précontraint par post-tension pour lequel les exigences sont différentes.

Lorsque les éprouvettes sont conservées dans les mêmes conditions que le béton de l'ouvrage, les valeurs mesurées de résistance à la compression sont utilisées directement. Par contre, lorsque les éprouvettes sont conservées et mûries en laboratoire, il est demandé au CCDG un délai supplémentaire après l'obtention de 70 % de la résistance spécifiée à 28 jours. Ce délai supplémentaire correspond au nombre de jours où la température ambiante en chantier a été inférieure à 5 °C. La raison de ce délai supplémentaire est liée à l'hydratation du béton qui progresse plus lentement lorsque la température est faible. Dans le cas où aucune éprouvette n'est prélevée, un délai minimal de 21 jours s'applique après la mise en place du béton.

Dans le cas d'un tablier en béton précontraint par post-tension, l'étalement 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'étalement.

4.3.3 Armature

L'armature est fabriquée selon différents diamètres, à partir de la barre n° 10 jusqu'à la barre n° 55. Le numéro de la barre fait référence à son diamètre approximatif; par exemple, une barre n° 10 a un diamètre de 11,3 mm alors qu'une barre n° 25 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° 5 a un diamètre de 5/8 de pouce alors qu'une barre n° 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 avec les crénelures (mm)	Aire de la section (mm ²)
n° 10	0,785	13	100
n° 15	1,570	18	200
n° 20	2,355	22	300
n° 25	3,925	28	500
n° 30	5,495	33	700
n° 35	7,850	39	1 000
n° 45	11,775	48	1 500
n° 55	19,625	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 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 qui leur sont propres, de façon à faciliter la tâche des ouvriers chargés du façonnage. Certains d'entre eux soumettent ces bordereaux à l'entrepreneur pour acceptation et celui-ci les transmet à son tour au surveillant. Il est fortement recommandé que le surveillant ne se prononce pas sur ces bordereaux et qu'il avise plutôt l'entrepreneur de se conformer au bordereau qui apparaît sur les plans de soumission. 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.

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. 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 9001:2000 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
Mittal (Usine de Contrecoeur)	DO
Mittal (Usine de Longueuil)	D
Gerdau (Usine de Cambridge)	C
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 rayons 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 rayon de courbure non conforme.

Tableau 4.3-5 Rayon de courbure minimal

Barres d'armature	Rayon de courbure minimal
n° 10, n° 15, n° 20	6 fois le diamètre de la barre
n° 25, n° 30, n° 35	8 fois le diamètre de la barre
n° 45, n° 55	10 fois le diamètre de la barre

Dans le cas des barres galvanisées droites, 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, la préparation des surfaces doit se faire selon un procédé mécanique; en effet, l'immersion de ce type de barre dans un bain d'acide peut entraîner leur fragilisation par l'hydrogène (voir article 15.14.2.2.1 du CCDG).

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 récemment 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 écaillage 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'écaillage (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. Les barres étant coupées après galvanisation, et par conséquent non protégées, il est spécifié que la surface totale maximale acceptable d'écaillage au niveau du rayon de pliage soit du même ordre, c'est-à-dire équivalent à la section transversale d'une barre, soit par exemple :

- 200 mm² pour une barre 15M;
- 300 mm² pour une barre 20M.

Le surveillant se doit d'être attentif et de rejeter toute barre présentant un écaillage excédant ces valeurs. 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. De plus, rappelons qu'il n'est pas nécessaire de

poser un enduit riche en zinc sur les extrémités de barres coupées après la galvanisation à cause de la protection galvanique qu'elles bénéficieront à partir du zinc environnant; de plus, ces extrémités sont la plupart du temps repliées vers l'intérieur de l'élément. Si ce n'est pas le cas, il est peu probable que l'extrémité non repliée vers l'intérieur soit l'amorce du délaminage du béton. Mentionnons finalement qu'une perte éventuelle par corrosion de quelques mm de barre aux extrémités non protégées n'ont aucune incidence structurale.

Le procédé de galvanisation inclut le traitement au chromate, qui sert essentiellement à éviter la rouille blanche et possiblement la formation de bulles d'hydrogène au voisinage des barres lorsque le béton est frais (qui pourrait diminuer l'adhérence du béton aux barres), et le surveillant ne doit pas s'inquiéter de l'aspect différent que peut avoir les barres par rapport à d'autres pièces galvanisées n'ayant pas eu de traitement au chromate. Rappelons que le traitement au chromate ne s'applique pas aux armatures à haute résistance pour, encore une fois, éviter leur fragilisation par l'hydrogène.

Il est très rare qu'une barre d'armature non galvanisée 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.

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 ferrailage 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 ferrailage d'autres éléments ou portions d'éléments à bétonner plus tard.

Plusieurs conditions doivent être respectées pour que les travaux de ferrailage 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 également 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 (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 n° 20 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.

De plus, les barres ne peuvent être regroupées en faisceaux 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.

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 déglçage, 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 déglçage 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.

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.

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. Les nouvelles barres d'armature utilisées pour la réparation doivent aussi être fixées à chaque attache des coffrages. Des cales doivent également être utilisées 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, un sol 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; dans le cas d'un bétonnage sur le sol, il peut être nécessaire de placer les cales sur une surface élargie pour éviter leur enfoncement. Dans le cas des semelles ou des radiers, il est spécifié au devis spécial 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.

L'enrobage de béton des armatures verticales est, quant à lui, donné par des espaceurs circulaires en plastique; cependant, des cales individuelles doivent être utilisées si les armatures sont des barres n° 25 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.

La figure 4.3-8 montre les différentes cales autorisées sur les structures du Ministère.

Il est important de noter que les cales de type « blocs de béton » 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 du laboratoire des chaussées a démontré que leur porosité élevée facilite l'entrée des sels de déglacage dans la structure, entraînant ainsi une détérioration prématurée. Par contre, il est

permis au devis spécial d'utiliser des pavés conformes aux exigences de la norme 3402 du Ministère à titre de cales pour l'armature des semelles ou des radiers. Cette exception est nécessaire comme tenu du poids imposant de ces armatures.

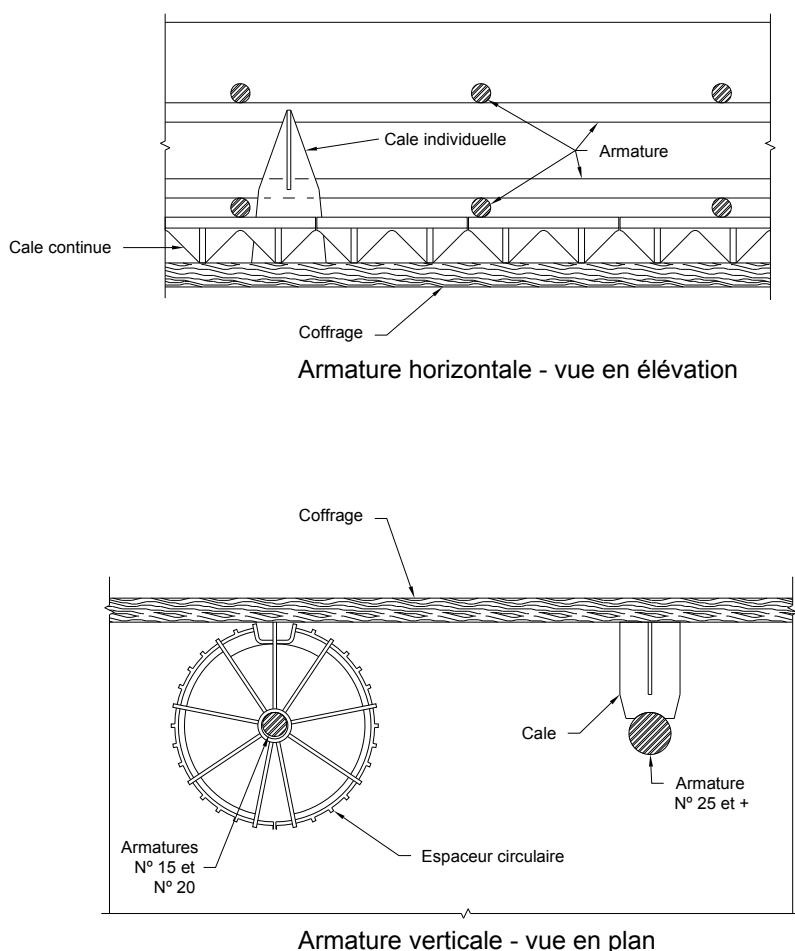


Figure 4.3-8 Cales types en plastique

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 1200 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.

Mise en place des armatures – tolérances

Les tolérances sur l'emplacement des armatures sont données à l'article 12.8 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 4.3-9 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

	Tolérance
– Enrobage des armatures (recouvrement)	$\pm 12 \text{ mm}^1$
– 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	$\pm 8 \text{ mm}$
- Supérieure à 200 mm mais inférieure à 600 mm	$\pm 12 \text{ mm}$
- 600 mm et plus	$\pm 20 \text{ mm}$
– Espacement latéral des armatures	$\pm 30 \text{ mm}$
– Emplacement longitudinal des courbures (pliages) et des extrémités d'armatures	$\pm 50 \text{ mm}$
– Emplacement longitudinal des courbures et des extrémités d'armatures aux extrémités non continues des éléments	$\pm 20 \text{ mm}$

Note 1 : La tolérance du recouvrement du dessus d'une dalle est $\pm 5 \text{ mm}$ (CCDG).

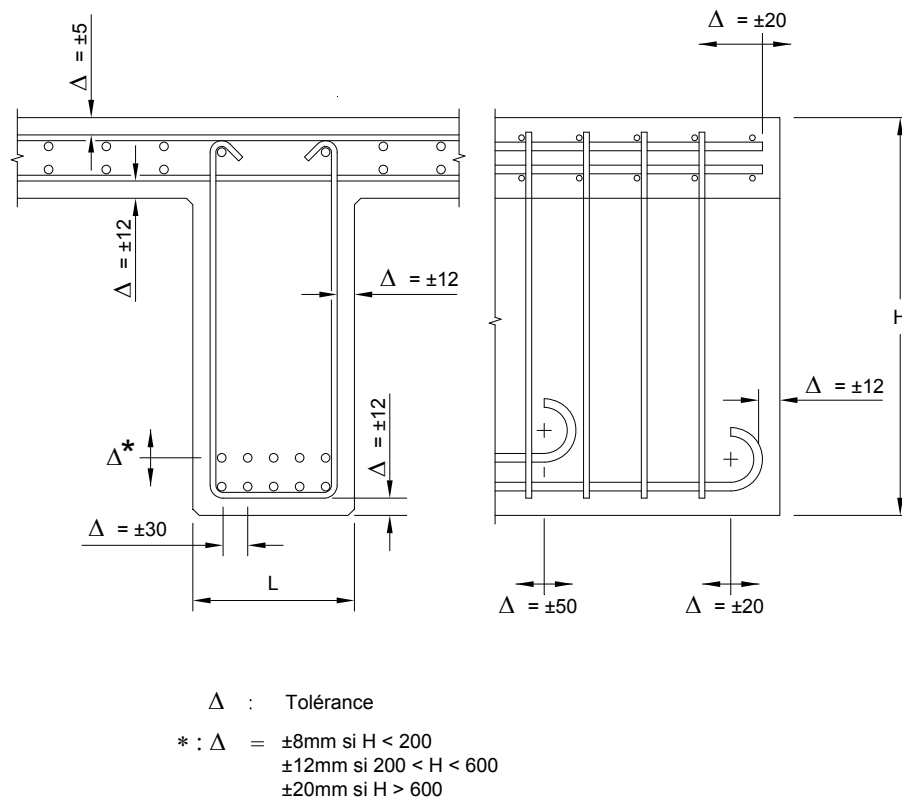


Figure 4.3-9 Tolérances de pose de l'armature – exemple d'une poutre

S'il est impossible de respecter l'enrobage minimal de 30 mm dans le cas d'une réparation avec coffrages sans surépaisseur, 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.

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. Mentionnons tout d'abord que les barres d'armature galvanisées ne doivent pas être pliées en chantier, car cela endommagerait sérieusement le revêtement de zinc au droit du pli.

Le pliage des barres non galvanisées n° 20 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.

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 doit être enduite de deux couches de peinture riche en zinc. 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. 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 n° 15 et un chevauchement de 700 mm pour des barres n° 20; le surveillant doit consulter le concepteur lorsque les barres à chevaucher sont d'un diamètre plus grand.

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 ferrailage 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 – informations additionnelles pour les dalles

Dans le cas d'une dalle construite sur des poutres en béton, son armature 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 ou les goudons des poutres 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 goudons ou les étriers des poutres; les exigences du devis spécial définissent les circonstances où cette mesure doit être appliquée. Cette armature comprend deux barres No 15 longitudinales et des étriers ayant la forme d'un chapeau inversé. La quantité d'étriers à ajouter doit correspondre à la section équivalente à celle des goudons ou des étriers des poutres (sans égard à la limite élastique de ces aciers); le surveillant se doit de vérifier cette valeur sur le plan que l'entrepreneur a à lui remettre. L'armature supplémentaire ne doit pas être galvanisée même si l'armature de la dalle l'est afin de ne pas retarder indûment les travaux et surtout, compte tenu des contraintes d'espace, de ne pas fragiliser ces armatures qui ont des rayons de courbure souvent inférieurs aux valeurs apparaissant à la norme 5101 du Ministère. De plus; cette pratique ne nuit pas vraiment à la durabilité de la dalle, parce que l'armature ajoutée est positionnée sous la nappe supérieure de l'armature de la dalle.

Exemple de calcul de l'armature supplémentaire 15M

Poutres en acier avec 3 goudons de 22 mm de diamètre à tous les 125 mm;

- section des 3 goudons : $3 \times (\pi r^2) = 3 \times (3.1416 \times [11]^2) = 1140 \text{ mm}^2$
- section équivalente d'armature
 - o 1 barre 15M : section de 200 mm^2 , donc l'étrier a 400 mm^2 (2 branches d'armature par étrier);
 - o donc, il faut 3 étriers à tous les 125 mm ($1140 \div 400 = 2,85$) ou 1 étrier à tous les 42 mm. On ne devrait pas regrouper plus que 3 étriers afin de ne pas diminuer indûment la valeur de l'effet composite assuré à l'origine par les goudons; en effet, des barres regroupées n'ont pas la même capacité structurale que des barres individuelles puisque la surface « béton-armature » y est moindre.

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 devraient 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.

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 entre 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.

Mise en place des armatures – informations additionnelles pour les armatures des chasse-roues et glissières

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.

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 – 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 n° 25 ou plus d'un autre élément de pont présente la même perte de section, le surveillant doit également consulter le concepteur.

Lorsqu'une barre n° 15 ou n° 20 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 n° 15 présentent chacune une perte de section supérieure à 30 %, une seule barre n° 15 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 mur neuf ou d'un ponceau neuf coulés en place; au devis spécial on parle aussi d'élargissement ou de modification d'une unité de fondation et d'élargissement d'une dalle ou d'un tablier.

Ces exigences se retrouvent à la fois au CCDG et au devis spécial. Pour celle 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.

De façon exceptionnelle et afin d'assurer la meilleure qualité possible des avis remis, il est exigé au devis spécial 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 formulaire, qui apparaît à la figure 4.3-10, est disponible sur le site intranet de la Direction des structures; le surveillant devrait fournir à l'entrepreneur la version du formulaire apparaissant sur ce site 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 ferrailage. 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 couvre donc tous les aspects de la mise en place des armatures.

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.

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 souvent peu respectées, 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 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 devis spécial que la mise en place de l'armature doit être refaite, d'où l'interdiction implicite d'augmenter les dimensions des éléments en béton.

Mentionnons en passant 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 devis spécial 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 permanente 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.

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 ferrailage. 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 : 1000 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 :

- $1000 - (2 \times 75) + (2 \times 12) = 874 \text{ mm}$

Dimension hors-tout maximale de l'armature pour éviter la reprise du ferrailage :

- $1\ 000 - 100 = 900 \text{ mm}$

Mesures des dimensions hors-tout de l'armature à chaque m de hauteur de la colonne :

Hauteur (m)	Mesure 1		Mesure 2	
	(mm)	Retenue (\$) ou reprise du ferrailage	(mm)	Retenue (\$) ou reprise du ferrailage
0,5	907	Reprise ferrailage	870	NA
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 totale : 3 000 \$
- Reprise du ferrailage 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 partie 4.3.1.3 « Attaches de coffrages » 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 et au devis spécial 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 4.3-10 illustre les exigences du CCDG.

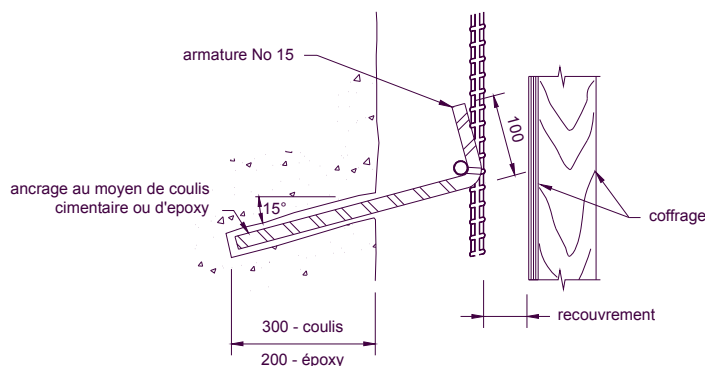


Figure 4.3-11 Ancrage pour réparation avec coffrages et surépaisseur

Les produits d'ancrage qui peuvent être utilisés sont le coulis cimentaire et l'ancrage chimique; ce dernier est composé 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. Dans ce dernier cas, si

l'entrepreneur désire remplacer le produit d'ancrage spécifié, le surveillant se doit de consulter le concepteur. Mentionnons que ce genre de substitution peut être accepté pourvu que la capacité structurale des ancrages soit jugée équivalente; il ne faut pas oublier d'apporter les changements nécessaires aux dimensions des trous.

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 de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle se trouve 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, en autant que cela soit fait 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).

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. Lorsqu'un produit d'ancrage chimique est utilisé, les dimensions des trous sont plus faibles parce que l'adhérence au béton est plus grande.

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'utilisation 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.

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. Dans le cas d'ancrages utilisés au plafond, il faut se servir de bouchons fendus autour de ces derniers afin de retenir le produit d'ancrage à l'intérieur des trous.

Le nettoyage des parois des trous exigé dans le CCDG est essentiel pour assurer la qualité du lien entre le produit d'ancrage et l'ancrage lui-même. 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.

Les ancrages sont généralement 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.

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 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 selon les exigences du devis. Mentionnons que généralement ces 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 d'un béton de type XIII, 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. Puisqu'un béton de type V ne contient généralement pas de superplastifiant, il est important de vérifier si l'article du devis spécial relatif au béton en fait mention; si c'est le cas, il faut s'assurer que cet adjuvant est bel et bien prévu sur la fiche descriptive pertinente. Le concepteur spécifie l'emploi d'un superplastifiant pour le bétonnage d'éléments fortement armés ou difficiles à bétonner à cause de leur forme comme une réparation avec coffrages. Si cet adjuvant

n'est pas exigé et que l'entrepreneur désire l'utiliser, le surveillant ne devrait pas s'y opposer, car cela ne peut être que positif pour la qualité finale de l'ouvrage.

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 importante. Mentionnons que ces superplastifiants, qui sont relativement nouveaux sur le marché, 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 récemment. Cette réduction entraîne plusieurs problèmes, notamment la finition plus difficile du béton et la présence des joints froids ou de nids d'abeille. Ces problèmes sont souvent causés par le peu de marge de manœuvre que laisse les superplastifiants à base de polycarboxylate en cas de bris d'équipement ou de refus de quelques chargement 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 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.

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.

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.

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 et le béton durci au droit d'un joint de construction doivent être nettoyés de manière à enlever toutes les particules de béton n'adhérant pas à la surface. Il faut alors référer aux exigences du devis spécial où il est demandé de traiter au jet d'eau sous pression les joints horizontaux et les 2 premiers mètres des joints verticaux. Mentionnons que pour ces derniers, on s'en tient aux 2 premiers mètres parce qu'il est beaucoup plus difficile d'accéder plus en profondeur à l'intérieur des coffrages.

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 et le béton durci au droit d'un joint de construction 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 détrempée, 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.

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 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.

Cet 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. Mentionnons que, dans le cas d'une réparation avec coffrages et surépaisseur, il est mentionné au devis spécial que le calibre des gros granulats du béton autoplaçant de construction est 5-14 plutôt que 5-10 habituellement utilisé, et ce, afin de maintenir la stabilité du mélange;

- 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 ferrailage, car il est toujours possible qu'une cale soit déplacée ou endommagée lors des opérations qui suivent le ferrailage;
- 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 :

- 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 partie « Préparatifs avant bétonnage – séquence de bétonnage » de l'article 4.3.5.6 de ce chapitre;
- les étapes de bétonnage au droit d'un joint de construction vertical. En effet, lorsque cela est exigé au devis spécial, 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 à proximité d'éléments récemment bétonnés comme dans le cas de la reconstruction d'une dalle réalisée en phases. Il est en effet très 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;
- la démolition d'éléments continus en béton à moins de 30 m de la zone de bétonnage (voir l'article 15.1.2.2 « Démolition partielle » du CCDG 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'étalement répond en tous points au plan soumis est remis au surveillant;
- 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 lorsque cela est exigé à l'article « Béton » du devis spécial. Cette exigence, qui est surtout spécifiée dans le cas d'un pont neuf ou de réparations d'envergure, est nécessaire pour avoir du personnel qualifié sur le chantier. Le surveillant devrait 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;
- pour un élément de pont autre qu'une dalle, un trottoir, un chasse-roue ou une glissière réalisé avec un béton de type XIII, la période de bétonnage exigée dans le CCDG s'applique si la température diurne excède 20 °C;
- 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 est utilisée;
- le bétonnage est prévu de nuit lorsque requis.

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.

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.

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.

4.3.5.3 Joints de construction

Un joint de construction est défini comme l'interface entre deux bétonnages réalisés dans des temps différents. 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.

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.

Dans le cas du bétonnage des dalles, il faut se référer à la partie 4.3.5.5 « Mise en place du béton plastique » 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 devis spécial. Cette préparation est alors faite au moyen d'un jet d'eau sous pression (15 MPa ou 2 250 lb/po²) afin de ne pas endommager la galvanisation des aciers

- d'armature. Selon le devis spécial, cette exigence s'applique aussi aux joints verticaux ayant moins de 2 m de hauteur; les joints verticaux ayant plus de 2 m ne sont généralement pas traités compte tenu des difficultés à atteindre les surfaces;
- enlever toute éclaboussure de béton séché provenant d'un bétonnage précédent.

Ce dernier point est important lors de travaux réalisés en phases, les éclaboussures séchées sur les coffrages ou les barres d'armature provenant d'un précédent bétonnage doivent être enlevées avant de procéder au bétonnage. Cette exigence du CCDG vise l'obtention d'une surface de béton saine, d'une part, et d'un bon lien entre les barres d'armature et le béton, d'autre part. 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'une phase subséquente de bétonnage.

4.3.5.4 Transport du béton plastique

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 partie 4.3.5.2 « Autorisation de bétonnage » de ce chapitre. Rappelons ici les points les plus importants : le matériel 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.

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 partie 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 1,2 m citée à la partie 4.3.5.5 « Mise en place du béton plastique ».

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 1,2 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.

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 pieux caissons. 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. Bien que cette façon de faire doit 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 du béton de type XIII, 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 importante afin que l'essai de convenance déjà réalisé soit représentatif et assure ainsi un réseau d'air de qualité du béton de l'ouvrage. Pour ce qui est des autres critères de pompage, notamment celui de la configuration du mât de distribution, rappelons que l'essai de convenance est réalisé selon des conditions les plus défavorables possibles et que le surveillant n'a pas à s'en préoccuper.

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 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 33 %;
- 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.

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.

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. Ajoutons que, lorsque qu'un béton de type XIII, l'essai de convenance est aussi utile pour vérifier si le mélange peut se pomper.

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 pas aux bétons de type XIII, aux bétons autoplaçants de réparation (bétons de type XIV-R et XIV-S) et de construction ou aux bétons antiessivage (béton de type XV), 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 antiessivage 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. De plus, une pompe ayant un mât de distribution plus long de celle ayant servi à l'essai de convenance d'un béton de type XIII peut aussi être la source de problèmes de pompage.

4.3.5.5 Mise en place du béton plastique

Les caractéristiques du béton plastique, comme la teneur en air, l'affaissement et la température sont ajustées au chantier par du personnel qualifié relevant de l'entrepreneur; dans les faits, cette responsabilité revient souvent au fournisseur de béton. Cette exigence du CCDG est très importante, puisque l'entrepreneur a la responsabilité de fournir un béton plastique dont les caractéristiques sont conformes; ce n'est pas au surveillant ni au laboratoire du Ministère à ajuster le béton au chantier. Le laboratoire du Ministère fait ses propres essais une fois que le technicien du fournisseur a ajusté le béton selon les exigences.

Bien que le CCDG ne définisse pas clairement le terme « personnel qualifié », il fait habituellement référence au technicien du fournisseur de béton. Le technicien du fournisseur chargé d'ajuster les caractéristiques du béton plastique au chantier doit détenir la certification ACI lorsque cela est exigé à l'article « Béton » du devis spécial. Cette exigence, qui est surtout spécifiée pour un pont neuf ou pour des réparations d'envergure, est nécessaire pour avoir du personnel qualifié sur le chantier.

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. 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 1,2 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 4.3-11 pour une meilleure visualisation de ce concept).

Le déplacement latéral du béton dans un coffrage ne doit pas dépasser 1,2 m afin d'empêcher sa ségrégation. En effet, il est facile, lors du déplacement du béton au moyen d'un râteau, d'un vibreur 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.

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.

Il est précisé au CCDG que l'utilisation du superplastifiant est limitée à deux dosages, dont un seul en chantier; si le béton n'a pas les propriétés désirées après ces deux dosages, le chargement doit être refusé.

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 vibreur devrait être foncé dans le béton à intervalles de 15 minutes. Le vibreur 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'aidait 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.

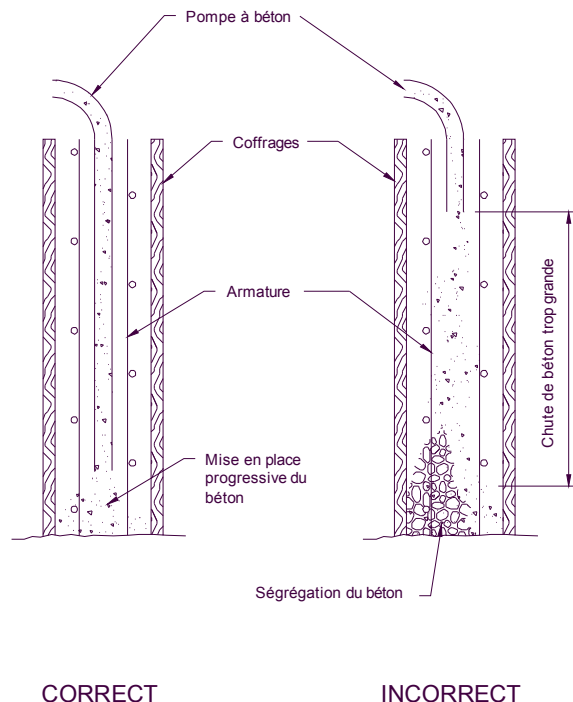


Figure 4.3-12 Bétonnage d'un élément élancé

Pluie

Les exigences relatives à la pluie s'appliquent pour le bétonnage d'une dalle ou d'un trottoir. En effet, il est facile de protéger efficacement contre la pluie toute autre partie d'ouvrage à cause de l'ouverture restreinte des coffrages.

Le surveillant devrait s'assurer que les probabilités de pluie au site des travaux sont très faibles, voire inexistantes, pour 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 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 le bétonnage d'une dalle lorsqu'il pleut, il est possible cependant 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 perpendiculaire à la ligne de centre du pont 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.

Coffrages et étaieiment

Une inspection ponctuelle des coffrages et de l'étaieiment 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 étaieiment 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 4.3-12 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'étaieiment. Si l'affaissement constaté montre un écart important par rapport à celui calculé par le concepteur de l'étaieiment, le bétonnage devrait être interrompu.

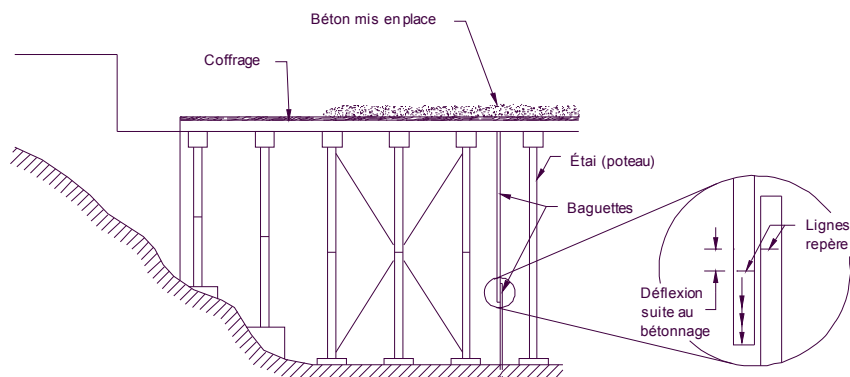


Figure 4.3-13 Contrôle de déflexion d'un étaieiment lors du bétonnage d'un tablier

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, sa plus grande étanchéité à long terme 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.

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.

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.

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 n'est pas requise pour les ponts neufs, puisqu'une distance libre de 200 mm est prévue entre le système structural du tablier et la face avant du garde-grève, ce qui diminue de beaucoup les risques de détérioration du système structural et des appareils d'appui en cas d'infiltration d'eau.

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) ou de type panneaux de polymère gaufré (âme drainant rigide) est fixé sur l'arrière de la culée; les marques de commerce des produits acceptés par le Ministère sont indiquées au devis spécial.

Les panneaux de polymère gaufré doivent être bien fixés en tout point au garde-grève pour éviter son ensablement. En effet, ce système n'est muni d'un géotextile que sur sa face exposée au sol; ce géotextile sert à bloquer les particules fines et à éviter ainsi la réduction de l'efficacité du système. De plus, comme il est vendu en rouleau dont la largeur est plus grande que nécessaire, l'entrepreneur doit prendre soin de conserver un surplus de géotextile de chaque côté des bandes posées; ce surplus doit être replié

à l'arrière du système de drainage pour éviter l'ensablement par le côté des bandes. Par contre, le système de type géocomposite est beaucoup plus 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 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 devis spécial. 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 assujéti 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 partie 4.3.1 « Coffrages », 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 est réalisé sans difficulté sur la plupart des types de ponts. 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.

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. 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. 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, le devis permet habituellement de localiser le rail sur cette poutre plutôt qu'à l'arrière du trottoir; 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, 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 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 trottoir. 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 attendant 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. 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. Compte tenu des restrictions d'espace souvent rencontrées, il faut s'assurer 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 : le finisseur à béton automoteur 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.

Le finisseur à béton automoteur est privilégié par le concepteur pour toute dalle, ou partie de dalle pour des travaux réalisés en phases, ayant une superficie supérieure à 200 m². Le finisseur 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 biais, même si cela entraîne une faible distorsion du dessus de la dalle une fois le bétonnage terminé.

Compte tenu des connaissances nécessaires à l'ajustement et à l'opération du finisseur automoteur, le devis spécial exige que l'opérateur du finisseur 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 – finisseur automoteur

Les caractéristiques et la marque de commerce du finisseur automoteur sont décrites dans le CCDG et le devis spécial. Le finisseur Gomaco modèle C-450 est exigé, puisque c'est le seul finisseur disponible au Québec. Le finisseur automoteur 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 du finisseur; cette exigence du devis spécial 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 un finisseur 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 le finisseur utilisé.

Pour des raisons de sécurité, le tableau de commande devrait être situé du même côté du finisseur 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 du finisseur 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 le finisseur entre chaque bétonnage.

Le module mobile est un chariot qui se déplace sur les rails du pont roulant; c'est la seule partie du finisseur 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 certains finisseurs, un contrepoids. Sur certains finisseurs 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 du finisseur 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 du finisseur 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.

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 12HD 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 aplanisseur 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 enjambrer 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 du finisseur 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 serait préférable de diminuer la longueur de la règle en conséquence.

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'aplanisseur. Ce travail à la truelle est facilité lorsque les exigences de dégagement sous la plate-forme sont respectées.

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. 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.

Le pontage associé à la reconstruction d'une dalle est traité à la partie 1.2.1 « Démolition complète » de ce manuel puisqu'il faut, dans ce cas, mettre en place le pontage avant de débiter 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 devis spécial.

Le pontage est mis en place avant de débiter toute activité relative à la mise en œuvre du coffrage 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 construction du pontage et lors du bétonnage de la dalle.

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 étaie doivent être construits en tenant compte de l'affaissement calculé de l'étaie; 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'étaie.

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 4.3-13 montre un gousset type. La hauteur des goussets de chaque poutre doit être évaluée par l'entrepreneur à chaque dixième de travée.

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.

Puisque la cambrure réelle des poutres est plus élevée que la perte de cambrure due à l'ajout des charges morte 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.

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.

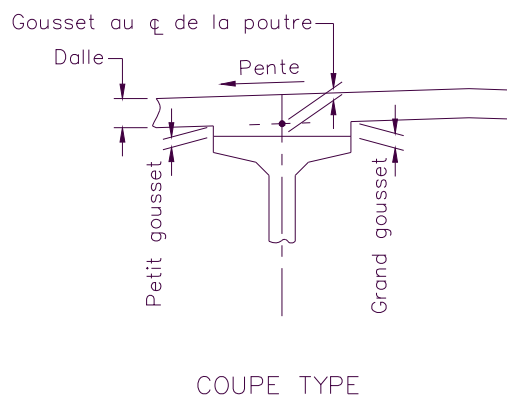


Figure 4.3-14 Gousset type

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 à la perte de cambrure de chacune des poutres lors

du 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 ou, pour un pont avec poutres d'acier, utiliser l'article du devis spécial qui permet de fixer la perte de cambrure à 85 % de la valeur de cambrure indiquée sur les plans. La valeur de perte de cambrure est considérée comme identique pour toutes les poutres même si en pratique elle peut varier légèrement d'une poutre à l'autre.

Dans le cas de la reconstruction d'une dalle, il faut utiliser les valeurs de perte de cambrure mesurées lors du relevé d'arpentage. 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 perte de cambrure varie beaucoup d'une poutre à l'autre, étant donné la retenue exercée par les diaphragmes 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, 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 de perte 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 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.

Compte tenu de la cambrure résiduelle des poutres, le calcul des goussets va nécessairement entraîner des valeurs négatives pour certains 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. 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. Ce relèvement du profil longitudinal se rencontre sur tous les projets et 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 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 doivent être réalisés. Lorsqu'une nouvelle séquence de bétonnage approuvée par le surveillant 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.

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 étaie, la perte de cambrure est remplacée par l'affaissement calculé de l'étaie; 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'étaie.

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 a 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 un dévers, 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 attendant 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.

Ajustement des rails de roulement – mise en place des rails

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 place des rails selon un profil parallèle à celui des coffrages. Cet ajustement préliminaire doit être suivi par l'ajustement final du profil des rails au moyen d'un niveau d'arpentage à chaque dixième de travée.

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 du béton 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 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 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 du finisseur est localisé sur un coffrage en porte-à-faux, il faut mettre en place la corde de référence le plus près possible du finisseur pour tenir compte de la déflexion du coffrage sous le poids du finisseur; 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 du finisseur, il faut hausser uniformément les quatre pattes de levage d'une valeur correspondant à celle de la déflexion du coffrage sous le poids du finisseur 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.

Le finisseur automoteur doit être localisé 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 le finisseur 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 le finisseur n'est pas localisé 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 déterminée du rail.

Ajustement de l'équipement de finition – finisseur à béton automateur

Avant de procéder à l'ajustement du finisseur, il faut avoir l'assurance que celui-ci est déposé 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 le finisseur de ses rails une fois son ajustement achevé sous peine de refaire l'ajustement. Par contre, lorsque le finisseur doit être soulevé de ses rails, comme dans le cas de bétonnages successifs nécessitant l'allongement du finisseur à

la suite de chacun des bétonnages, il faut en refaire l'ajustement avant chaque bétonnage.

Il faut également, avant d'entreprendre l'ajustement du finisseur, déposer sur le pont roulant tous les équipements qui sont 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 du finisseur terminé, aucune charge ne doit y être ajoutée, car cela aurait pour effet de déformer le pont roulant du finisseur rendant l'ajustement caduc.

Le temps nécessaire pour l'ajustement complet du finisseur est de l'ordre de 90 à 120 minutes.

Une fois l'ajustement du finisseur finalisé 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 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 du finisseur, 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 du finisseur.

Étapes d'ajustement

Bien que l'ajustement du finisseur 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 du finisseur automoteur 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 le finisseur 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 du finisseur, 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'un finisseur automoteur 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 du finisseur automoteur.

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.

Passage à vide – mesure de l'enrobage au-dessus des armatures

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 prémisses 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, le finisseur automoteur doit être déplacé 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 du finisseur.

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 du béton 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 devis spécial 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.

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 pour tout bétonnage successif quelle que soit la séquence de bétonnage retenue.

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 d'enrobage 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 dans le devis spécial. 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 m³ dans un grand centre urbain, ce qui est beaucoup plus que le taux minimal de 20 m³ 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'étalement, 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.

Préparatifs avant bétonnage d'une dalle– début du bétonnage

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 débiter 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 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 débiter 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 du finisseur automoteur 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 du finisseur automoteur, qui avaient été positionnés perpendiculairement au pont roulant lors de l'ajustement du finisseur, 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 du finisseur 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 du finisseur 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. 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 événements d'injection

Le béton utilisé pour le bétonnage d'une dalle au moyen d'un finisseur automoteur 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 du finisseur. 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 exigé au devis spécial 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 événements 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

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, le finisseur automoteur est avancé 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 %, le finisseur automoteur est avancé 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, le finisseur est avancé de façon égale à ses deux extrémités de manière à conserver en tout temps le finisseur 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.

Le finisseur automoteur doit être ajusté 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 du finisseur, 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 le finisseur est avancé de façon égale à ses deux extrémités de manière à conserver en tout temps le finisseur perpendiculaire à la ligne de centre du pont; cette façon de faire permet de garder les rouleaux lisses à un angle optimal par rapport au finisseur. Dans le cas d'un pont avec dévers, il faut veiller à ce que le déplacement du finisseur 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 du finisseur 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 faudrait d'abord s'assurer que le bas des rouleaux lisses tourne l'un vers l'autre pour que l'ourlet de béton nécessaire à la finition du béton se retrouve entre les deux rouleaux. Cette façon de faire est importante pour faciliter la finition du béton et éviter un dépôt important de laitance près des côtés du bétonnage. Une fois cette vérification faite, il est possible de diminuer l'angle d'attaque en haussant la partie avant du finisseur 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 du finisseur sur la corde de référence. Il est possible de réduire ou d'augmenter l'angle d'attaque sur un seul côté du finisseur lorsque le surplus ou le manque de béton ne touche qu'un côté de la dalle.

Si l'ajustement de l'angle d'attaque du finisseur 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, le finisseur automoteur peut être reculé 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 le finisseur.

La vibration du béton au moyen de la boîte vibrante du finisseur 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 du finisseur; il faudrait éviter que tout un chacun puisse modifier le fonctionnement de ces accessoires afin de rationaliser le plus possible l'utilisation du finisseur.

Bétonnage d'une dalle– fin du bétonnage

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 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 chasses-roues, des glissières ou des trottoirs; 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 vibreur 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 du finisseur automoteur, 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 le finisseur 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 peut se référer à la partie 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 vibreur. 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 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 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 ou antilessivage (béton de type XV) est inutile compte tenu de la nature particulière de ceux-ci.

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.

Il est interdit formellement au CCDG l'utilisation des vibreurs 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 vibreurs pour faciliter leur travail.

L'entrepreneur doit utiliser des vibreurs internes pour la consolidation du béton. Le vibreur doit être enfoncé verticalement, sous son propre poids, de façon à assurer une bonne liaison entre les couches 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 vibreur 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 vibreur est enfoncé à la verticale. La figure 4.3-14 illustre la façon correcte d'utiliser un vibreur dans un coffrage vertical. Le vibreur doit être enfoncé jusqu'à ce qu'il pénètre de façon importante à l'intérieur de la couche de béton précédente.

Les vibreurs 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 vibreur 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 vibreur de taille moyenne est utilisé. Une fois qu'il est enfoncé, il faut maintenir le vibreur 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. Ce dernier cas s'applique lors d'une reprise de bétonnage alors que le béton déjà en place a commencé à faire sa prise, endommageant ainsi le lien entre les armatures et ce béton. 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.

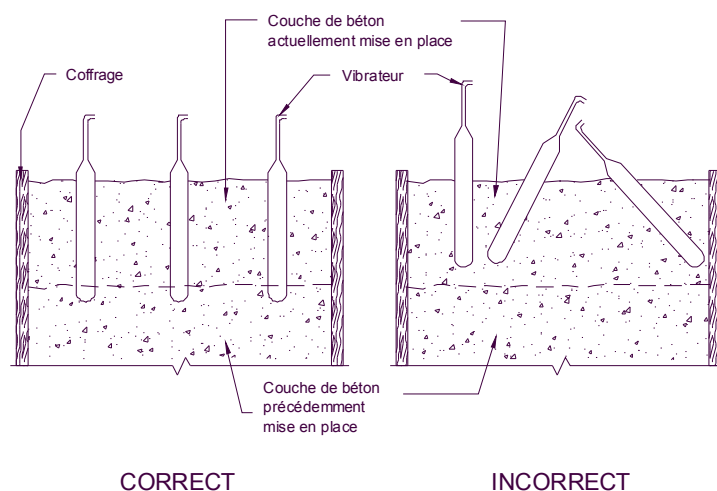


Figure 4.3-15 Positions du vibreur dans un coffrage vertical

Il est précisé au CCDG les caractéristiques du vibreur 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 vibreur.

Il est également fixé au CCDG le nombre de vibreurs requis pour les travaux selon le taux de mise en place possible par vibreur. Le surveillant doit veiller au respect de cette exigence, car l'entrepreneur a tendance à réduire le nombre ou la grosseur des vibreurs, ce qui l'oblige à abaisser le niveau de consolidation, surtout dans des coffrages élancés où les ouvriers se déplacent plus difficilement. Un vibreur 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.

Bien que les plus petits vibreurs aient une tête de 20 mm de diamètre, il peut parfois s'avérer impossible, lors de certains travaux de réparation, de les insérer à l'intérieur des coffrages. Il faut alors utiliser la vibration externe même si cette pratique n'est pas mentionnée dans le CCDG. En chantier, il s'agit d'appliquer une légère vibration sur les

coffrages, au moyen d'un marteau par exemple, ou d'appliquer la tête du vibreur directement sur les parois du coffrage; la durée de la vibration est beaucoup plus longue que la vibration interne. La vibration externe doit toujours n'être utilisée qu'en dernier recours et avec beaucoup de précautions. Il est en effet impossible de contrôler le niveau de consolidation obtenu, et un manque de vibration survient souvent surtout si l'épaisseur de nouveau béton dépasse 100 mm. Compte tenu des limites de la vibration externe, le surveillant doit insister pour que l'entrepreneur se procure un vibreur de petit diamètre ou qu'il prévoie des ouvertures suffisamment rapprochées dans les coffrages pour faciliter la vibration du béton.

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 s'impose afin d'éviter d'augmenter indûment le rapport eau/liant du béton de surface et ainsi affecter la durabilité des ouvrages.

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 devraient 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.

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 vis-à-vis d'un trottoir, d'un chasse-roue ou d'une glissière en béton, il est de bonne pratique d'égaler 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 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. Cette exigence du CCDG s'applique notamment pour éviter un remblayage ou la pose d'enrobé à chaud près des bordures trop hâtif.

Le CCDG a été modifié récemment pour regrouper toutes les causes de détérioration du béton frais ou récemment mis en place, sauf une qui concerne le dynamitage (voir articles 11.4.1.1 et 11.4.1.2 du CCDG). Ce regroupement a été effectué puisqu'il revient d'abord au surveillant responsable de la mise en place du béton frais de s'assurer que ce dernier ne sera pas soumis à aucune cause de détérioration. Bien que ce surveillant soit responsable 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 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 des pieux (y compris la vibro-compaction et le vibro-remplacement) à moins de 30 m, 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.

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 trois moments

importants : lors du bétonnage jusqu'à la prise initiale, au cours des 24 heures qui suivent le bétonnage et durant une période de temps qui peut s'étirer sur plusieurs mois. Chacune de ces phases est associée à un type précis de retrait, soit le retrait plastique, le retrait endogène 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 une trajectoire aléatoire et discontinue, 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 épaulements des joints de tablier, 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 ou d'un trottoir par temps chaud.

Le retrait endogène trop important amène la formation de fissures très fines, inférieures à 0,20 mm, mais de grande profondeur, parfois allant de part en part de l'élément comme dans le cas des dalles sur poutres.

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.

Le retrait de séchage 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. 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.

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.

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 fait une bonne cure lors du bétonnage d'une dalle, de chasse-roues, de trottoirs ou de glissières, le devis spécial contient habituellement un texte relatif aux retenues à effectuer en cas de cure non conforme. Ce texte doit être porté à l'attention de l'entrepreneur avant le début du bétonnage. En effet, 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.

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. Dans le cas du béton de type XIII mis en place par temps chaud, il se peut que les coffrages doivent être enlevés après trois jours. Lorsque les coffrages sont retirés avant la fin de la période de cure, ce qui est souvent le cas lorsqu'un béton de type XIII n'est pas utilisé, 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.

1. Toiles absorbantes imbibées d'eau

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 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. Il faut éviter d'utiliser l'eau non conforme du cours d'eau situé sous l'ouvrage à construire; les caractéristiques de l'eau servant pour la cure doivent être les mêmes que celle employée pour le gâchage du béton.

2. 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 aide à s'assurer de l'uniformité de la pose.

Mentionnons 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. Si un matériau de cure a été utilisé sur une telle surface, celui-ci doit être enlevé, avant de procéder au bétonnage, au moyen d'un jet d'abrasif humide ou d'un jet d'eau haute pression.

b) Dalles, trottoirs, chasse-roues et glissières en béton, épaulements de joint de tablier, assises et revêtement en béton

La cure des dalles et des trottoirs 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 durci. Pour la cure des chasse-roues, des glissières, des épaulements des joints de tablier, assises et revêtement de béton, seule cette deuxième étape s'applique.

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.

Humidification préalable à la cure

L'humidification des surfaces est réalisée sur les dalles et les trottoirs, car ces derniers sont très sujets à la fissuration due aux retraits plastique et endogène. Elle doit débiter 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.

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.

Cure

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.

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.

c) Autres éléments

La cure des autres éléments est aussi réalisée en deux étapes. Une première étape se fait au moyen de la méthode de cure « Toiles absorbantes imbibées d'eau » qui sert à fournir de l'eau une fois le béton durci. La seconde étape consiste à utiliser la méthode de cure « Matériaux de cure formant membrane » lorsque le décoffrage a lieu avant la fin de la période de cure et si l'entrepreneur ne désire pas poursuivre la cure au moyen de toiles absorbantes.

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. 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.

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. 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 a une durabilité réduite à la suite de l'apparition éventuelle d'aiguilles microscopiques appelées « ettringite ». De plus, 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 poutres à l'intérieur de l'usine. Cette dernière exigence est nécessaire, car le béton 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.

4.3.5.11 Inspection, correction et nettoyage des surfaces

Immédiatement après la cure, le surveillant doit vérifier le profil du dessus de la dalle avec une règle de 3 m; 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 de armatures ne soit pas réduite de manière indue ou que toute proposition consistant, par exemple, à mettre de l'enrobé à chaud de correction ne soit pas retenue, notamment à cause des problèmes de durabilité réduite de la membrane d'étanchéité.

Le surveillant ne doit 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 » de ce manuel.

Inspection

À la suite de la cure du béton, les surfaces réparées avec ou sans surépaisseur 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

Toutes les surfaces de béton doivent être réparées aussitôt après la fin de la cure. Cette exigence du CCDG s'impose, car plus vite la réparation est faite, meilleure sera l'adhérence du matériau de réparation 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, pour une réparation 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 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, 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.

Le mortier utilisé par l'entrepreneur doit être l'un de ceux mentionnés à la « Liste des matériaux relatifs au béton de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées » laquelle se trouve 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. Le surveillant doit s'assurer que la pose du mortier est faite en conformité avec les recommandations du fabricant du mortier. Mentionnons qu'il est indiqué au devis spécial 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.

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. Pour cette raison, toutes les surfaces de béton doivent être réparées, 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 doivent 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.

Nettoyage

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. Cette exigence du CCDG est nécessaire afin que l'ouvrage, une fois complété, soit impeccable. 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 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 de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle se trouve sur le site internet du Ministère. Dans le devis spécial, l'imperméabilisant est défini de façon précise comme un polymère de silicone de type silane dont la teneur en matières solides est égale ou supérieure à 40 % en masse.

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.

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. Les notions relatives à l'enduit de surface sont exclusivement couvertes dans le devis spécial.

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.

Notons qu'un imperméabilisant est souvent utilisé en combinaison avec un enduit de surface. 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.

L'entrepreneur doit protéger contre les éclaboussures les surfaces qui ne sont pas à recouvrir d'enduit, particulièrement les conduits et les luminaires.

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 partie 4.3.5.9 « Cure des éléments en béton coulés en place » 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 ce béton, la norme 3101 du Ministère fixe la température maximale du béton plastique à 22 °C. Pour les autres types de béton, mentionnons que cette température est déterminée en fonction de l'épaisseur de l'élément (voir à ce sujet le tableau 3101-4 de la norme 3101 du Ministère). Les taux d'hydratation du liant et d'évaporation à la surface du béton sont fortement influencés par la température du béton plastique. C'est la seule exigence du Ministère relative au matériau pour atténuer les effets du bétonnage par temps chaud.

Dalles et trottoirs

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, c'est-à-dire du 15 mai au 15 septembre, il est exigé au CCDG que le bétonnage se fasse en soirée ou de nuit. Cette exigence 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. L'exigence du bétonnage de soirée ou de nuit est particulièrement importante pour les dalles et trottoirs d'un ouvrage d'art; il ne faut donc pas se surprendre de ne pas la trouver 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 plastique, 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 l'article « Béton » du devis spécial interdit 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.

Autres éléments de pont en béton de type XIII

Le bétonnage par temps chaud des autres éléments de pont est moins critique que celui des dalles ou des trottoirs. Certaines précautions doivent cependant être prises lorsque du béton de type XIII est employé.

Le retrait plastique est un problème moins important que pour les dalles et les trottoirs, 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.

Mentionnons que les exigences relatives au bétonnage de soirée, de nuit et de matinée ne s'appliquent pas au béton des chasse-roues et des glissières compte tenu du faible volume de béton de ces éléments.

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.

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, 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 de l'air extérieur et des 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. La température de l'eau, celle des granulats et la façon dont l'eau, le liant et les granulats doivent être mis en contact sont détaillées dans le CCDG.

La température de l'air extérieur lors d'un bétonnage à l'air libre doit être égale ou supérieure à 0 °C. Dans le cas d'une dalle pour laquelle une protection de type 3 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. 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. Mentionnons qu'il est 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.

La température des surfaces avec lesquelles le béton plastique vient en contact doit être égale ou supérieure à 0 °C afin d'empêcher le gel du béton près de ces surfaces. Cette température minimale vise entre autres à éviter la présence de glace sur les armatures afin de ne pas 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 ou 3, les surfaces de contact doivent être préalablement chauffées et maintenues à une température comprise entre 0 °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 supérieure à 10 °C pendant une période minimale de sept jours consécutifs suivant le bétonnage. 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. Dans le cas du béton précontraint par post-tension, la période de protection doit se poursuivre jusqu'à sept 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.

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 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.

Mentionnons que la température des surfaces des coffrages, à l'intérieur d'une protection de type 2 ou 3, doit se situer entre 0 °C et 20 °C. Cette exigence du CCDG constitue une mesure indirecte 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 se munir d'un thermomètre infrarouge pour faire la vérification de ces températures.

Bien que le CCDG n'ait aucune exigence quant à la température maximale du béton durci durant la période de cure, 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 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.

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. Dans le cas d'un bétonnage réalisé avec une protection de type 2 ou 3, une bonne pratique consiste à couper le chauffage sans toutefois enlever la protection. Cette façon de faire permet au béton de refroidir lentement.

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 ou 3, 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 devrait aussi faire le suivi de la température au moyen d'un thermomètre infrarouge.

Pour ce qui est de la température du béton d'éléments de pont construits par temps froid dans le cadre d'une protection de type 3, le surveillant demande au laboratoire mandaté par le Ministère de fournir et d'installer des thermocouples puisque cette installation exige une certaine expérience en ce domaine. Les éléments visés par ce genre de suivi sont les dalles sur poutres, les dalles épaisses, les portiques et les tabliers en béton précontraint en place. Mentionnons que ce suivi n'est pas nécessaire pour les éléments de pont non mentionnés au paragraphe précédent étant donné qu'ils sont beaucoup moins sujets à une baisse localisée de la température, car ils sont construits à l'intérieur d'un abri (protection de type 2). 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 de un thermocouple par 75 m³ 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.

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 ou un trottoir, 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 partie 4.3.5.9 « Cure des éléments en béton coulés en place » de ce chapitre pour plus de détails.

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 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 déglacage 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 partie 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 ou 3, 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 sont respectées en tout point pendant toute la durée de la protection.

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.

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. Mentionnons que la valeur de résistance thermique demandée auparavant était de 0,70. Après analyse, il s'est avéré que les matériaux isolants vendus ces dernières années avaient plutôt une valeur RSI de 0,40; puisque ces matériaux ont été jugés suffisants pour protéger le béton, il a été décidé de conserver les mêmes matériaux isolants et de simplement modifier la valeur RSI exigée.

Un matériau isolant ayant une valeur RSI de 0,40 correspond généralement à un matelas de mousse d'une épaisseur de 16 mm. 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 désormais 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.

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.

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. De plus, certains de ces équipements 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 étalements 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 étalements.

Protection de type 3

La protection de type 3 est utilisée exclusivement pour le bétonnage des dalles sur poutres, des dalles épaisses, des tabliers en béton précontraint par post-tension et des portiques.

La protection de type 3 consiste à construire un abri enveloppant le dessous et les côtés du tablier, y compris les poutres dans le cas d'une dalle sur 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.

La protection de type 3 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 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. 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.

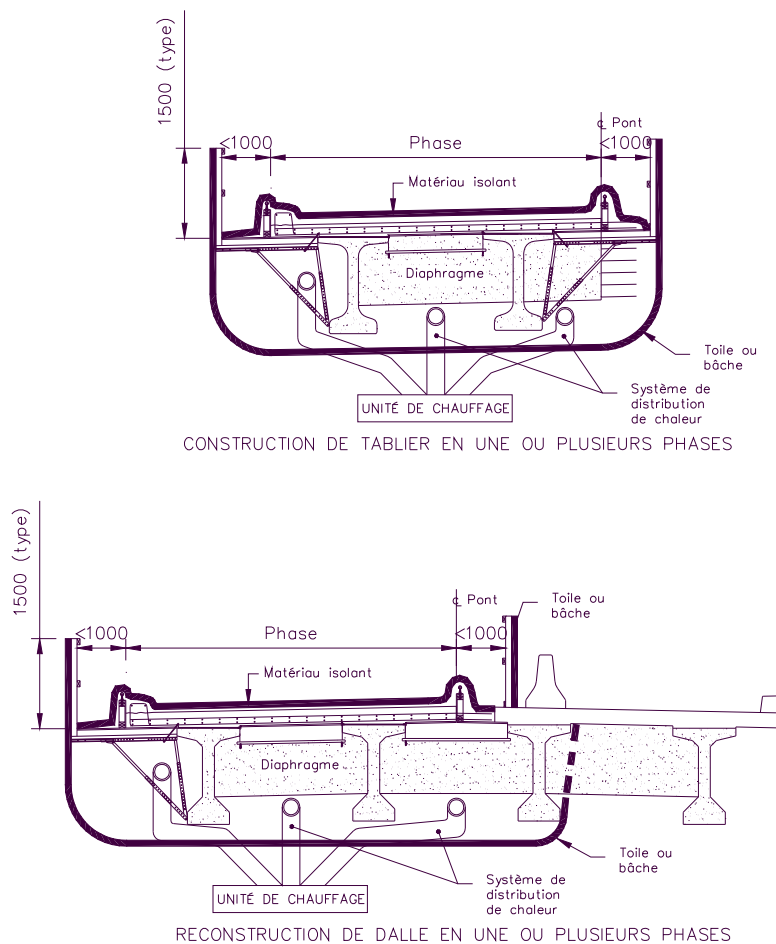


Figure 4.3-16 Bétonnage par temps froid – protection de type 3

4.3.8.3 *Semelle, dalle de transition, culée, pile, mur de soutènement, ponceau, épaulement de joint de tablier, chasse-roue, trottoir, glissière et travaux de réparation*

Le tableau 4.3-7 résume le type de protection à utiliser pour le bétonnage de tous ces éléments.

Tableau 4.3-7 Type de protection à utiliser pour tous les éléments de pont, sauf les dalles sur poutres, les dalles épaisses, les tabliers en béton précontraint par post-tension et les portiques

1 ^{er} avril au 31 octobre			1 ^{er} 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 1^{er} novembre et le 31 mars.

L'interdiction de procéder à des travaux de réparation avec coffrages sans surépaisseur entre le 1^{er} 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 d'un élément existant.

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 1^{er} 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 1^{er} 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 1^{er} 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 1^{er} 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 résume le type de protection à utiliser en fonction de la période de l'année pour le bétonnage d'une dalle sur poutres.

Tableau 4.3-8 Type de protection à utiliser pour une dalle sur poutres

Zone 1	1 ^{er} avril au 31 octobre			1 ^{er} 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	1 ^{er} avril au 31 octobre			1 ^{er} au 30 novembre		1 ^{er} 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

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 » 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° T2007-15 où il est recommandé diverses stratégies pour contrer ces problèmes, et ce, pour tout bétonnage réalisé après le 15 octobre. Brièvement, ces stratégies se résument au report des travaux au printemps suivant lorsque cela est possible; sinon, il faut utiliser un matériau de cure formant membrane et d'utiliser un béton de type V lorsque cela est possible (voir le concepteur).

Mentionnons que les informations apparaissant à la suite du tableau 4.3-7 s'appliquent aussi aux dalles sur poutres.

4.3.8.5 Dalle épaisse, tablier en béton précontraint en place et portique

Le tableau 4.3-9 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.

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	1 ^{er} avril au 30 novembre			1 ^{er} 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	1 ^{er} avril au 14 novembre			15 au 30 novembre		1 ^{er} 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

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 3 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 sur poutres.

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. 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 du tablier et que la protection est maintenue jusqu'à la fin de la période de protection du coulis. Si une protection de type 3

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 faite dès que possible par la suite.

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. 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 d'une base d'étanchement, de pieux tubulaires et de pieux caissons; dans ces derniers cas, le type de béton à utiliser est spécifié aux sections pertinentes du CCDG. Mentionnons que le béton antilessivage (béton de type XV), qui est un béton très dispendieux, n'est pas requis dans ces cas, car le béton est coulé dans de l'eau stagnante.

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.

Afin de réduire le plus possible l'introduction d'eau dans le béton à mettre en place, il arrive souvent que l'entrepreneur coince une balle de caoutchouc à la fin de 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. Ensuite, au cours du bétonnage, une bonne façon de s'assurer que l'extrémité de la ligne de pompage demeure noyée dans le béton (dans le but de minimiser l'introduction d'eau dans le béton à mettre en place) consiste à vérifier que la portion verticale de la ligne de pompage (normalement constituée de tuyaux flexibles) ne soit pas parfaitement à la verticale (c'est-à-dire qu'un « mou » devrait être observable).

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.

PHOTOGRAPHIES

OUVRAGES EN BÉTON



1. Coffrages verticaux



2. Coffrages verticaux préfabriqués



3. Doublure de coffrage, repliée sur chaque panneau



4. Attache de coffrage type « attache avec boudins »



5. Ancrages utilisés en combinaison avec tirants pour travaux d'entretien



6. Selles ajustables en hauteur

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



7. Détail d'une selle ajustable



8. Supports de coffrages de dalle en porte-à-faux



9. Étalement



10. Étalement (travaux d'entretien)

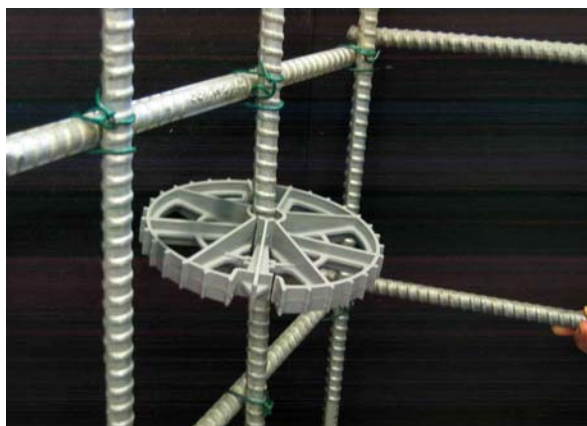


11. Détail de la base des étais (poteaux)

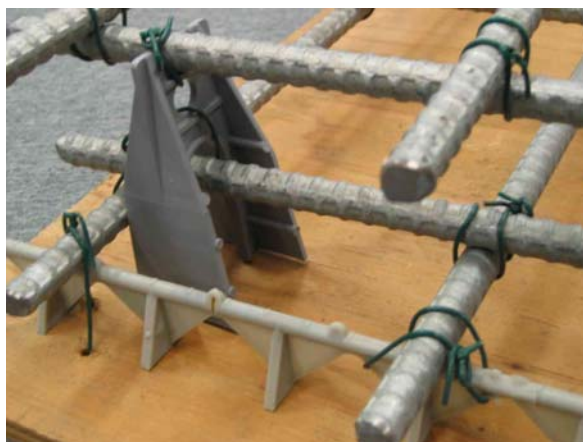


12. Protection d'étalement avec gabarit et glissières

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



13. Espaceur circulaire pour armature verticale



14. Cales types pour armatures de dalle sur poutres



15. Armatures supplémentaires pour goussets importants (dalle sur poutres)



16. Bâton et clou pour vérifier l'élévation des armatures (par rapport au coffrage)



17. Jet d'abrasif humide



18. Nettoyage final des coffrages

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



19. Pompe à béton



20. Pompe à béton remorquée



21. Bétonnière mobile



22. Détail des contrôles d'une bétonnière mobile



23. Bétonnage au moyen d'ouvertures temporaires dans les coffrages



24. Insertion du vibreur dans les ouvertures de coffrage (réparation)

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



25. Rail de roulement pour équipement de finition pour le béton de la dalle



26. Remblai temporaire pour rail de roulement à l'approche d'un pont



27. Vérification du profil final du rail de roulement



28. Finisseur à béton automatique



29. Détail du module mobile du finisseur automatique



30. Ajustement du finisseur à béton automatique

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



31. Règle vibrante



32. Détail de la règle vibrante



33. Finition de la dalle sur plate-forme



34. Finition manuelle des abords de dalle



35. Boudins pour joint de construction d'urgence

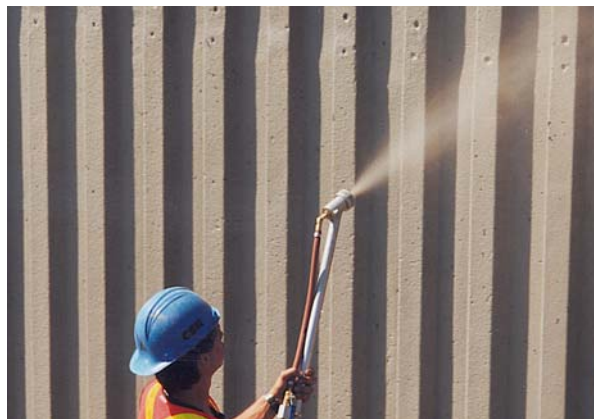


36. Humidification préalable à la cure

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



37. Béton décoffré avant correction des surfaces



38. Enduit de surface



39. Prise de température des surfaces de contact (thermomètre infrarouge)



40. Protection type 2



41. Protection type 3 – poutres dans l'abri et unités de chauffage hors abri



42. Coffrage métallique pour bétonnage sous l'eau

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

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 énumération des éléments concernés au CCDG.

Voir notions d'arpentage au début de ce chapitre.

MATÉRIAUX

Béton

- ❖ Norme 3101 du Ministère : béton de tout type y compris les bétons autoplaçant de réparation (XIV-R ou XIV-S), antilessivage (XV) et au latex (XVI-5 ou XVI-15)
- ❖ Béton de type XIII : 10 MPa à 24 heures
- ❖ Usine *back up* : voir CCDG

Armature

- ❖ Norme 5101 du Ministère (nuance 400 W)

Matériaux de cure

- ❖ Norme 3501 du Ministère

Imperméabilisant à béton

- ❖ Norme 3601 du Ministère

Mortiers cimentaires en sacs

- ❖ Norme 3801 du Ministère

Coulis cimentaire

- ❖ Norme 3901 du Ministère

Doublure de coffrage

- ❖ Norme 31001 du Ministère

Planche asphaltique

- ❖ Selon l'article 14.2.1.5 du CCDG

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

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

Voir chapitre 4 « Assurance de la qualité » du Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transports (version 2003).

- ❖ Se servir de la « Liste des matériaux relatifs au béton de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées » avant d'accepter un produit. Cette liste est sur le site Internet du Ministère (http://www.mtq.gouv.qc.ca/portal/page/portal/entreprises/zone_fournisseurs/reseau_routier/materiaux_infrastructure)
- ❖ 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 de ciment
- ❖ Bétonnière mobile : voir texte de ce chapitre
- ❖ Ancrages : résistance à l'arrachement, voir CCDG et devis
- ❖ Essai de convenance (pour vérifier caractéristiques du béton et mise en place)
 - Béton coulé en place
 - Béton de type XIII
 - 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 de 33 %, section en « S » (2 coudes à 45° d'au moins 275 mm chacun) et dispositif de fermeture
 - Réalisé dans semelle. 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 (voir devis)

Coffrages

- ❖ Conception
 - Selon norme CAN/CSA-S269.3
 - Plans signés par un ingénieur à fournir si élément de fondation plus haut que 4 m ou si rails de roulement sur coffrages en porte-à-faux (dalle), notes de calculs à fournir pour dalle (porte-à-faux et attendant à phase de travaux). À fournir aussi pour dalles sur poutres si circulation maintenue sous la dalle

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

- 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)
- 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 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 2400 mm partout où c'est possible)
 - À l'état neuf (neuf pour béton autoplacant de réparation (types XIV-R ou XIV-S) ou de construction)
- ❖ Accessoires de coffrages
 - Attaches de coffrages
 - Galvanisées lorsque l'armature est galvanisée
 - Avec cônes de plastique (longueur cône choisie pour avoir 25 – 50 mm entre l'extrémité de l'attache et la surface du béton)
 - Capacité minimale : 40 kN en service, soit diamètre de 19 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 :
 - o Chasse-roues, trottoirs 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)
 - Ancrage mécanique à la dalle (dessus douille : 60 mm sous la surface de béton)
 - Aucune soudure sur les éléments structuraux
 - Dalle sur poutres :
 - Selles ajustables en hauteur
 - o Galvanisées
 - o Largeur : largeur de poutre + 20 mm max.
 - o Doivent se prolonger sous le niveau du dessus des poutres supportant coffrages en porte-à-faux
 - o Placées perpendiculairement aux poutres supportant coffrages en porte-à-faux
 - Supports métalliques (porte-à-faux)
 - o Enduit caoutchouté aux appuis sur poutres d'acier
 - o Espacement constant
 - o Pas supporté sur éléments de fondation ou à partir du sol
 - Pente des coffrages avant bétonnage
 - o Tablier neuf sans biais : identique aux plans. Dalle sur poutres existantes ou tablier neuf avec biais : voir manuel

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

- 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
- ❖ 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 et épaulements des joints de tablier)
- ❖ Nettoyage
 - Aspirateur à privilégier
 - Eau propre
- ❖ Enlèvement
 - Attention à ne pas endommager le béton
 - Minimum de 3 jours après le bétonnage (cure à faire si enlèvement effectué avant minimum requis)
 - Béton type XIII : minimum de 7 jours après le bétonnage (sauf si $T^{\circ} > 15^{\circ} \text{C}$: 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
 - Culée et mur de soutènement coulé en place : mettre membrane autocollante sur fissures du côté remblai

Étalement

- ❖ 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'étalement 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'étalement mis en place
 - Si au-dessus d'une voie de circulation
 - Base à protéger
 - Hauteur et largeur du passage conformes
 - Informer DT 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)
 - Application progressive des efforts sur l'ouvrage

Armature

- ❖ Bordereaux
 - Vérifier les bordereaux du MTQ (pas ceux de l'entrepreneur)
- ❖ Réception en chantier
 - Vérifier si entreposage adéquat
 - Vérifier marques d'aciérie vs nom d'aciérie déjà fournie
 - Vérifier si acier W partout

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

- Vérifier F_y et diamètre des barres
- Vérifier dimensions des étriers et les rayons de courbure ou de pliage (norme 5101). Rejeter toute armature non conforme
- Galvanisation
 - Vérifier si faite lorsque requise dans les bordereaux
 - Vérifier si pliage fait avant la galvanisation
 - Vérifier la qualité de la galvanisation
- 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 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
 - Cales en plastique : espacement max. de 1 200 mm c/c
 - o Cales continues pour nappe inférieure (pavés autorisés pour semelles)
 - o Cales individuelles pour nappe supérieure
 - o Cales rondes pour nappe verticale (n^{os} 10 et 15)
 - o Cales individuelles pour nappe verticale (n^{os} 25 et plus)
 - Vérifier les tolérances de pose (voir 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 peinture riche en zinc
- ❖ Jonctions
 - Seulement aux endroits indiqués sur les plans
 - Longueurs des chevauchements selon les plans, si pas sur les plans : 600 mm pour barre n° 15, 700 mm pour barre n° 20 (autres diamètres : voir concepteur)
- ❖ Dalles
 - Ne pas attacher les armatures de dalle et des diaphragmes ensemble
 - Ajouter armature supplémentaire pour goussets importants (2 barres No 15 et étriers). Ne pas galvaniser cette armature supplémentaire
 - 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
- ❖ Corrosion des barres existantes (réparation)
 - Ajout d'armature à demander si perte de section > 30 %
- ❖ Avis de conformité
 - 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

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

Ancrages

- ❖ Ancrage chimique ou coulis cimentaire
 - L'un ou l'autre si pas spécifié sur les plans et devis
 - Si capacité structurale spécifiée : essais à la rupture à faire
 - Conformité des trous (inclinaison, dimensions, nettoyage : brossage et air comprimé)
 - Tige métallique : armature n° 15 (crochet de 100 mm)

Béton

- ❖ Divers
 - Fiches descriptives des mélanges
 - 7 jours avant le bétonnage
 - Béton type XIII : 14 jours avant l'essai de convenance
 - Vérifications à faire par le surveillant :
 - o Bons types de béton
 - o Superplastifiant lorsque requis
 - Si superplastifiant à base de polycarboxylate est utilisé
 - Temps de prise doit dépasser la durée du bétonnage de 50 % (minimum 3 heures)
 - Autorisation de bétonnage
 - Avis de bétonnage (accompagné des avis de conformité pour les coffrages et l'armature)
 - o 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
 - o Voir vérifications du CCDG et du manuel avant remise de l'avis écrit 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 < 2m : 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)
- ❖ 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)
 - Nettoyer barres d'armature et béton exposé après démolition du béton
 - Enlever éclaboussures de béton séché (armature et coffrages)
 - Nettoyage final à faire (jet d'eau sous pression)
 - Humidification des surfaces (saturées, surfaces sèches)
 - Eau propre (selon norme 3101 du Ministère pour eau de gâchage)
- ❖ 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 béton type XIII)

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

- Accessoires à la fin de la ligne de pompage : section réductrice de 33 %, section en « S » (2 coudes à 45° d'au moins 275 mm chacun) et dispositif de fermeture
 - o Éléments verticaux : section en « S » juste au-dessus du niveau des coffrages et pas de dispositif de fermeture
- ❖ Mise en place du béton plastique
 - Caractéristiques du béton plastique ajustées par le fournisseur avant que le Ministère fasse ses propres essais (technicien ACI lorsque requis)
 - Pompe à béton : le premier 0,5 m³ de béton à rejeter
 - Couche maximale : 500 mm
 - Hauteur maximale de chute libre : 1,2 m
 - Déplacement latéral maximal : 1,2 m
 - Béton type XIII : 2 dosages maximum de superplastifiant (dont 1 au chantier)
 - 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
 - Arrêt imprévu : joint de construction à faire si test du vibreur est négatif (voir texte de ce chapitre)
 - Réparation : ouvertures temporaires des coffrages à bloquer au niveau des coffrages environnants
 - Pluie
 - 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 :
 - o Risques de pluie : diminuer la largeur de béton plastique devant l'équipement de finition et accélérer la finition derrière l'équipement
 - o Pluie imminente : faire finition du béton mis en place et arrêter travaux
 - o 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)
 - o Joint de construction en urgence : rectiligne, selon le biais et avec des tiges de support en mousse. À localiser comme indiqué au manuel
 - Affaissement des étalements 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 rigide) : 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 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
- ❖ Vibration du béton
 - Interdit de déplacer le béton avec le vibreur
 - Vibreur enfoncé verticalement
 - Espacement adéquat des enfoncements
 - À chaque enfoncement : maintenir le vibreur suffisamment longtemps
 - Nombre de vibreurs : selon ϕ de la tête du vibreur et taux de mise en place du béton (vibreur de rechange)
 - Réparation : utiliser un vibreur de faible diamètre si peu d'espace dans les coffrages
 - Dispositifs de retenue en acier : bien vibrer au droit des tiges d'ancrage
- ❖ Finition du béton
 - Ne pas utiliser :
 - De l'eau ou tout autre produit pour faciliter la finition du béton

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

- Des équipements de finition en bois
- Dalles
 - Afin d'alléger cet aide-mémoire, la finition des dalles est transférée à la fin de celui-ci
- Dalles de transition, trottoirs, chasse-roues, glissières et épaulements de joints de tablier
 - Araser le béton avec une règle droite
 - Faire la finition pour enlever saillies et crêtes, remplir les vides et les creux
 - Trottoirs : 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)
 - Pas de vibrations ou de chocs au béton jusqu'à 70 % de f_c
 - 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 25 MPa
 - 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, chasse-roues, glissières, épaulements de joints de tablier, assises et revêtements en béton
 - 2 étapes pour dalles et trottoirs : humidification préalable à la cure et la cure
 - Humidification préalable à la cure
 - o Dalle : à partir de la plate-forme de travail
 - o Immédiatement après la finition du béton (6 m maximum en arrière de l'équipement de finition)
 - o Équipement de pulvérisation manuel (fines gouttelettes), éviter pression supérieure à eau de borne-fontaine
 - o Éviter surplus d'eau (ne doit pas ruisseler ou couler)
 - o À répéter aussi souvent que nécessaire (surface luisante en tout temps) jusqu'à la cure
 - Cure
 - o Méthode « Toiles absorbantes imbibées d'eau »
 - o Imbiber d'eau les toiles aussitôt déposées sur le béton
 - o Feuilles imperméables à poser après durcissement du béton
 - o Vérifier la présence permanente d'une mince couche d'eau sur le béton
 - o Surfaces coffrées : à faire après décoffrage
 - Autres éléments
 - Méthode de cure « toiles absorbantes imbibées d'eau »
 - 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
 - Poutres en béton précontraint (prétension)
 - Feuilles imperméables jusqu'à la coupe des torons
 - Cure accélérée : voir CCDG
 - Température aire d'entreposage : > 10 °C jusqu'à f_c (utiliser protection type 2 au besoin)
 - Ne pas incorporer les éléments préfabriqués dans l'ouvrage < f_c
- ❖ Inspection, correction et nettoyage des surfaces
 - Inspection
 - Pour réparation avec ou sans surépaisseur
 - Après la cure

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

- Accès à fournir par l'entrepreneur
- Surfaces non conformes (son creux) + 150 mm : à reconstruire
- Correction
 - 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 et cavités de 6 à 12 mm avec un mortier
 - o Mortier
 - Nettoyer les trous au préalable
 - Couleur gris béton
 - 20 MPa à 24 heures
 - Ne doit pas déborder des trous ou cavités
 - 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
- Nettoyage
 - 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

- ❖ 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
 - 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
 - Contenants d'enduit conservés à $T^{\circ} > 10^{\circ}\text{C}$ jusqu'à la pose
 - Posé au pistolet (2 couches). Taux de pose par couche : 0,75 l/m². Vérifier les quantités posées

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

- Enduit « AMBEXCOAT SBNF » : 3 couches
- Protéger contre la pluie ou les éclaboussures pendant 12 heures

Bétonnage par temps chaud

- ❖ T° maximale du béton plastique : 30 °C (Béton de type XIII : 22 °C)
- ❖ 15 mai au 15 septembre (dalles et trottoirs)
 - 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
 - Autres éléments de ponts bétonnés avec du béton de type XIII (sauf chasse-roues et glissières)
 - Bétonnage de soirée, de nuit et jusqu'à 11 h

Bétonnage par temps froid

- ❖ L'emploi de sel de déglacage 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 : - 10 °C (pendant le bétonnage et les 48 heures suivantes)
 - T° des coffrages (protection de type 2 ou 3) : entre 0 °C et 20 °C (période de 24 heures avant le bétonnage)
 - T° minimale des surfaces de contact : 0 °C (coffrages, béton existant et armatures)
- ❖ Mesures pour éviter le gel du béton durci
 - T° minimale du béton : 10 °C
 - Mesurer périodiquement la T° du béton (thermocouples mise en place par le laboratoire du Ministère : voir manuel)
 - Durée de la protection
 - 7 jours
 - Jusqu'à 70 % f_c
 - Béton précontraint en place : jusqu'à 7 jours après l'injection du coulis dans les gaines
 - 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 ou 3
 - Coffrages doivent demeurer en place pendant toute la durée de la protection
 - T° des coffrages : entre 0 °C et 20 °C
 - Protection de type 3 : 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 : non conforme)
 - Nombre de couches selon T°
 - Chevauchement de 75 mm
 - À lester (vent)
 - Entrepreneur a 3 heures max. pour modifier nombre de couches
 - Type 2 (abri complet)

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

- Dimensions suffisantes pour y travailler
- Gaz de combustion vers l'extérieur de l'abri
- Étalement sur sol gelé : éviter le dégel du sol
- Type 3 (abri sous le tablier)
 - Inclure les poutres dans l'abri
 - 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
 - o Plan du dispositif de chauffage à fournir 2 semaines avant le bétonnage
 - o À l'extérieur de l'abri (loin des échafaudages)
 - Système de répartition de chaleur (dalle sur poutres : sous porte-à-faux et entre les poutres)
- ❖ Types de protection vs éléments de pont
 - Semelle, dalle de transition, culée, pile, mur de soutènement, ponceau, épaulement de joint de tablier, chasse-roue, trottoir, glissière et travaux de réparation

1 ^{er} avril au 31 octobre			1 ^{er} 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	1 ^{er} avril au 31 octobre			1 ^{er} 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	1 ^{er} avril au 31 octobre			1 ^{er} au 30 novembre		1 ^{er} 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	1 ^{er} avril au 30 novembre			1 ^{er} 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	1 ^{er} avril au 14 novembre			15 au 30 novembre		1 ^{er} 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

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

❖ 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
- Dalle sur poutres, dalle épaisse, tablier en béton précontraint en place et portique
 - Bétonnage après le 15 octobre : voir Info-structures n° T2007-15
- Réparation avec coffrages sans surépaisseur : interdite entre le 1^{er} 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 base d'étanchement et pieu
- ❖ 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, toujours conserver extrémité de la ligne de pompage enfoncée dans le béton (balle de caoutchouc et conserver un « mou » dans la portion verticale de la ligne de pompage)

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
- ❖ 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 : 1200 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 ($\perp$ à ligne de centre)
 - Finisseur automoteur (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 pour largeur de bétonnage > 18 m
 - Règle vibrante (Allen Razorback 12HD)
 - 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

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

- ❖ Ajustement des coffrages
 - Goussets
 - Verticaux et sans excéder la largeur des poutres
 - Relevé d'arpentage de chaque poutre (chaque dixième de travée, 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
 - o Adoucir les points d'arpentage
 - o Centre des travées : avant l'enlèvement de la dalle existante
 - Calcul des goussets
 - Par l'entrepreneur
 - Valeur de perte de cambrure d'un tablier neuf sur les plans (poutres d'acier : 85 % de la cambrure de fabrication), sinon consulter le concepteur
 - Remplacement de dalle
 - o Valeurs de perte cambrure mesurées (à augmenter si dalle neuve plus épaisse)
 - o 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
 - Mise en place des coffrages
 - Vérifier la hauteur des goussets (selon hauteurs calculées, 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 1^{er} 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 étalement)
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
 - Vérification des profils par le surveillant (niveau d'arpentage)
 - Ajustement des supports intermédiaires des rails avec une corde
- ❖ Corde de référence
 - Une seule corde (pour implanter le profil transversal)
 - Le plus près possible du finisseur automoteur, 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)

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

- 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 du finisseur automoteur à béton
 - Refaire l'ajustement si le finisseur est soulevé de ses rails
 - Préalable :
 - Vérifier si finisseur est dans la bonne direction
 - Tous les équipements pesants sont sur le finisseur (génératrice, éclairage, contrepoids)
 - Étapes d'ajustement (détails : voir 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
 - Finisseur : 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 manuel)
 - o Abaisser le niveau des armatures ou des coffrages ou hausser l'équipement de finition
 - Non-conformité sur l'épaisseur de la dalle (voir manuel)

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

- o Épaisseur insuffisante : abaisser le niveau des coffrages ou hausser l'équipement de finition
 - o 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
 - Séquence modifiable (texte au devis spécial si béton de type V avec retardateur)
 - o Nouvelle séquence et nouveau taux de pose 7 jours avant bétonnage. Nouveau taux de pose (m^3/h) $\geq$ à 75 % du volume du béton de la plus longue travée divisé par 2 heures
 - Séquence non modifiable
 - o Lorsque remplacement de dalle réalisé en phases
 - o 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 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 événements 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
 - Événements d'injection : les relever après bétonnage
 - Équipements de finition
 - Finisseur : rythme d'avancement : ± 150 mm
 - Pont avec dévers > 5 % et finisseur : avancement au point bas du dévers
 - Règle vibrante : rythme d'avancement ± 300 mm
 - Rythme d'avancement du bétonnage à ajuster
 - o 3 m maximum de béton plastique en avant de l'équipement de finition (placé par bande 1 m)
 - o 6 m maximum de béton non fini à l'arrière

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

- Ajustement en cours de bétonnage
 - o Attendre après le biais
 - o Surplus de béton : angle d'attaque à augmenter
 - o Manque de béton
 - Vérifier sens de rotation des rouleaux lisses
 - Angle d'attaque à diminuer
 - o 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
 - o Règle de 1 200 mm (pente transversale)
 - o Vérifier le profil longitudinal du béton plastique et corriger au besoin
 - o Pas de finition vis-à-vis des chasse-roues, trottoirs ou glissières, niveler le béton au chanfrein
 - o 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 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 vibreur est négatif. Ne pas continuer manuellement. Voir manuel pour emplacement du joint et autres détails
 - Finisseur : on peut continuer avec 1 seul rouleau lisse : voir manuel

CHAPITRE 5

BÉTON PROJETÉ

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	5-1
5.1 MATÉRIAUX	5-2
5.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ	5-2
5.3 MISE EN ŒUVRE	5-6
5.3.1 Préparation des surfaces à recouvrir	5-6
5.3.2 Treillis	5-7
5.3.3 Conditions climatiques	5-8
5.3.4 Autorisation de mise en place du béton	5-8
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	5-18
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

Mentionnons que les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ). Rappelons que le lien vers le BNQ se trouve sur le site intranet de la Direction de la recherche et de l'environnement.

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 selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

Mentionnons que la Direction du soutien à l'exploitation des infrastructures publie le *Guide du contrôle de la qualité du béton de ciment* qui couvre très bien le béton projeté.

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 de l'ACI si un opérateur est certifié; voici l'adresse de ce site : http://www.concrete.org/certification/cert_search.asp. 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 lancers 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 généralement 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 de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle se trouve sur le site internet du Ministère. Les deux seuls

fournisseurs de ces produits sont Ambex Technologies de béton 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.

La signification de l'étiquetage des produits acceptés par le Ministère en provenance de Ambex Technologies de béton est reproduite ci-dessous :

- « A » pour un mélange contenant du liant de type GUb-SF et aucun accélérateur de prise;
- « B » pour un mélange contenant du liant de type GUb-SF et un accélérateur de prise;
- « C » pour un mélange contenant du liant de type HE et aucun accélérateur de prise;
- « D » pour un mélange contenant du liant de type HE et un accélérateur de prise.

Note : L'étiquetage est le même quelle que soit la taille des sacs.

La signification de l'étiquetage des produits acceptés par le Ministère en provenance de Matériaux KING est reproduite ci-dessous :

- « 2520070 » pour un mélange contenant du liant de type GUb-SF et aucun accélérateur de prise (sacs de 30 kg);
- « 2525020 » pour un mélange contenant du liant de type GUb-SF et aucun accélérateur de prise (sacs de 1 000 kg);
- « 2525120 » pour un mélange contenant du liant de type GUb-SF et aucun accélérateur de prise (sacs de 1 500 kg);
- « 2520045 » pour un mélange contenant du liant de type GUb-SF et un accélérateur de prise (sacs de 30 kg);
- « 2525054 » pour un mélange contenant du liant de type GUb-SF et un accélérateur de prise (sacs de 1 000 kg);

- « 2520093 » pour un mélange contenant du liant de type GUb-SF et aucun accélérateur de prise (sacs de 30 kg). Ce mélange, contrairement aux précédents, est conçu pour le béton projeté par procédé humide.

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 consistance 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 essentielle.

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. Peu après la projection dans le moule, le surveillant établit la valeur de la consistance du béton; cette valeur sert de référence ensuite lors des travaux.

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.

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 du laboratoire des chaussées par l'entremise de la direction 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

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/po²) 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 climatiques

Les conditions climatiques 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 ou 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 1^{er} novembre et le 31 mars. Cependant, si le cas se présente, mentionnons que la protection de type 1 est celle qui est le plus souvent utilisée.

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.

Les exigences du CCDG relatives à la séquence des travaux s'imposent afin notamment de s'assurer que la réalisation de ceux-ci ne contrevient pas aux exigences concernant le maintien de la circulation.

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.

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, surtout dans le cas d'une finition avec granulats exposés. 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.

Équipements – bétonnière mobile

Le surveillant doit se référer au chapitre 4 « Ouvrages en béton » du présent manuel pour les certifications, le fonctionnement et l'utilisation d'une bétonnière mobile.

Techniques de projection

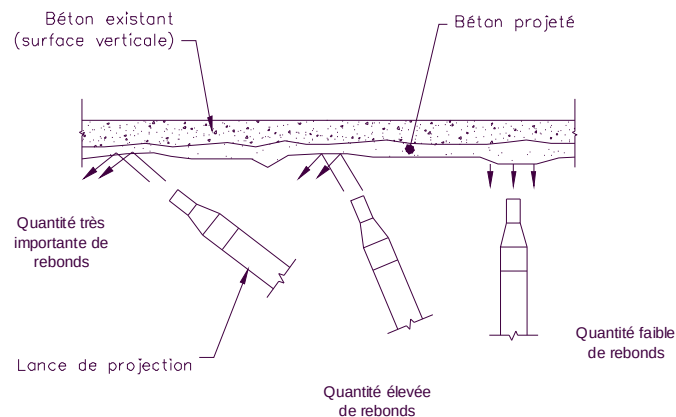
De façon générale, l'opérateur de lance de projection doit faire la mise en place du béton projeté comme suit :

- 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.

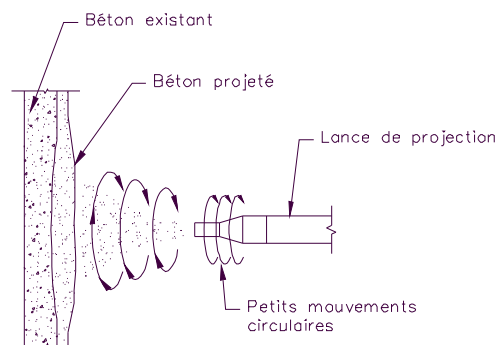
Cette technique de travail permet de limiter les rebonds et assure une meilleure homogénéité du mélange posé.

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 contiguës. 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.

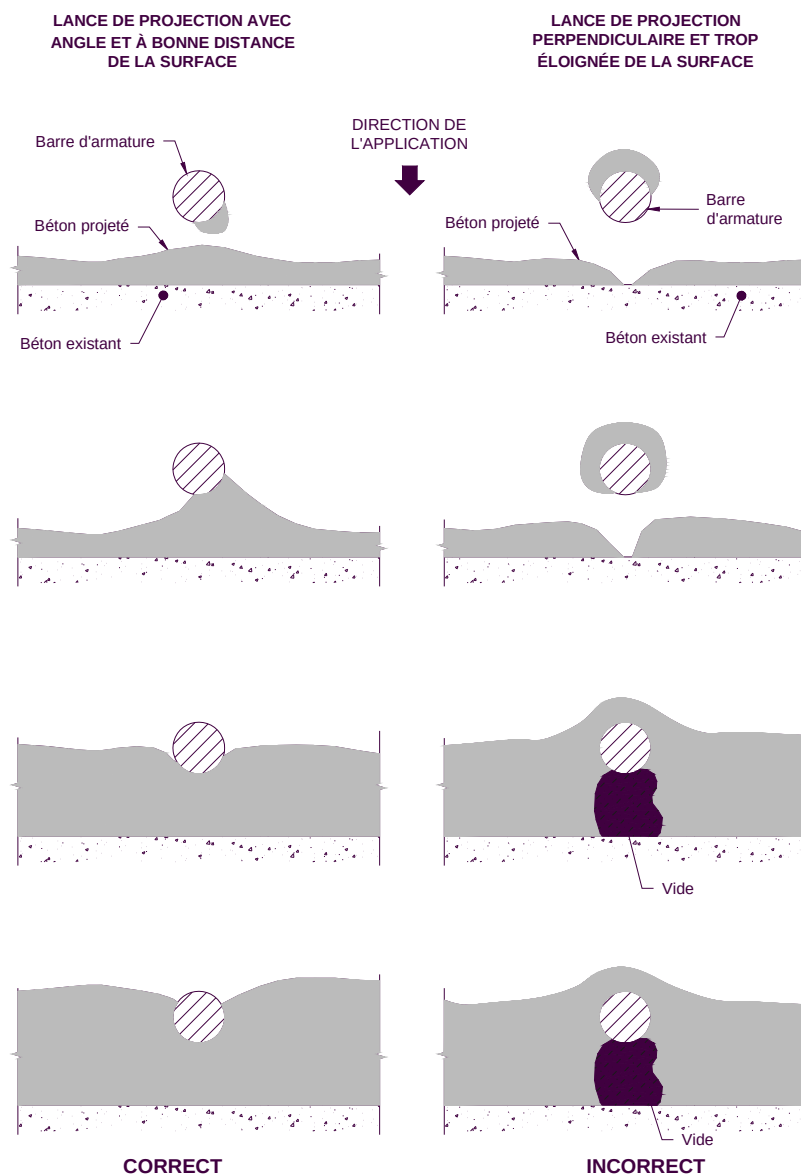


Figure 5.3-2 Formation d'un vide sous une barre d'armature

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.

Ce délai est prescrit dans le CCDG afin d'éviter la formation d'un joint de construction.

Joint 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 régalinge et l'aplanissement. Le régalinge 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 régalingé 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 régalingé 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.

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.

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.

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 de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle se trouve 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. 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.

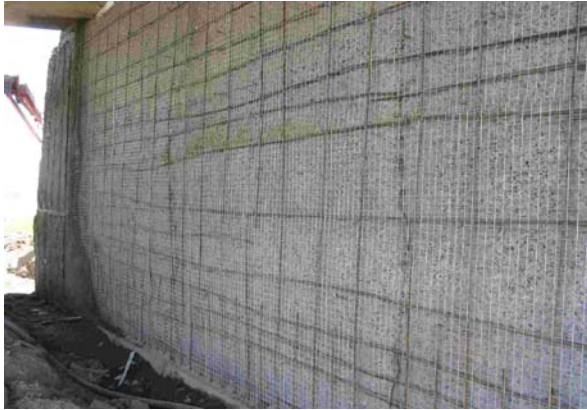
L'entrepreneur est tenu de fournir l'accès aux surfaces à inspecter.

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.

PHOTOGRAPHIES

BÉTON PROJETÉ



1. Treillis métallique galvanisé



2. Fixation du treillis métallique



3. Guide de projection (fils tendus)



4. Lance de projection du procédé humide



5. Projection d'un échantillon de béton



6. Pénétrromètre à aiguille



7. Technique de projection adéquate



8. Travaux de projection en cours de réalisation



9. Arasement de la surface de béton



10. Finition à l'aide de la truelle rotative



11. Installation du système de cure avant la projection



12. 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

Voir le chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

- ❖ 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 de l'ACI (http://www.concrete.org/certification/cert_search.asp) la validité des certificats présentés
- ❖ Contrôle de réception
 - Selon CCDG
 - Se servir du Guide du contrôle de la qualité du béton de ciment
 - Mélange ensaché : vérifier l'étiquette des sacs en fonction des fiches descriptives fournies (voir manuel pour information)
 - Vérification de la consistance (procédé à sec)
 - Se procurer un pénétromètre à aiguille (embout spécial de la Direction du laboratoire des chaussées)
 - Confection des échantillons
 - o Au moment choisi par le surveillant
 - o À ne pas faire au début des travaux
 - Vérifier la consistance du béton projeté
 - o Sur l'ouvrage (avant et après la réalisation des échantillons)
 - o Sur les échantillons
 - o La consistance doit être similaire sur l'ouvrage et les échantillons (écart tolérable 0,5 MPa, contrôle basé sur moyenne de 5 mesures)

MISE EN ŒUVRE

- ❖ L'entrepreneur doit recevoir l'autorisation du surveillant avant de fixer des ouvrages provisoires au béton existant (voir devis)

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

Préparation des surfaces à recouvrir (eau propre)

- ❖ Nettoyage des surfaces de contact (béton et acier)
 - 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/po²
- ❖ Nettoyage final à faire (jet d'eau 15 MPa ou 2 250 lb/po²)
- ❖ 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 climatiques

- ❖ Conditions climatiques
 - 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 1^{er} 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
 - o Conforme aux exigences du maintien de la circulation
 - o 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

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

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

- o 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
 - o Malaxage pendant au moins 5 minutes après ajout du superplastifiant
 - o Mise en place à faire moins de 120 minutes après le gâchage
 - o Fibres de polypropylène ajoutées à la centrale
 - Bétonnière mobile
 - o Fibres de polypropylène mélangées au granulat fin à l'usine
 - o 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 de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées »
- ❖ Techniques de projection
 - Projection $\perp$ 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)
- ❖ Joints de construction
 - À la fin d'une journée de travail ou lors de tout arrêt prolongé
 - 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/po²
 - 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 profil avec la règle de 3 m (tolérance : 15 mm)
- ❖ Régilage des surfaces (truelle rotative pour surfaces verticales)

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

- ❖ Aplatissement 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 $> 5^{\circ}\text{C}$)
- ❖ Méthodes de cure
 - Matériaux conformes à la norme 3501 du Ministère
 - T° de l'eau pour la cure $> 10^{\circ}\text{C}$ (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 manuel (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 de ciment 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

CHAPITRE 6

PRÉCONTRAINTÉ

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	6-1
6.1 MATÉRIAUX	6-3
6.1.1 Armature de précontrainte	6-3
6.1.2 Gaines	6-5
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 PRÉCONTRAIT EN PLACE	6-7
6.3.1 Documents requis	6-7
6.3.2 Exigences de conception	6-8
6.3.3 Mise en œuvre	6-11
6.4 BÉTON PRÉCONTRAIT PRÉFABRIQUÉ	6-23
6.4.1 Documents requis	6-23
6.4.2 Exigences de conception	6-25
6.4.3 Usine	6-25
6.4.4 Fabrication des poutres	6-25
6.4.5 Manutention et entreposage	6-30
6.4.6 Transport et mise en place des poutres	6-32
FIGURES	
Figure 6.3-1 Description des parties du procédé de précontrainte par post-tension	6-9
Figure 6.3-2 Formulaire V-1889-A « Précontrainte longitudinale par post-tension »	6-18
Figure 6.3-3 Formulaire V-1889-B « Précontrainte transversale par post-tension »	6-19

PHOTOGRAPHIES	6-35
AIDE-MÉMOIRE	6-37

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 étalement, 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. La précontrainte extérieure peut être totale ou partielle. Dans le premier cas, toute l'armature de précontrainte est placée à l'extérieur des sections de béton tandis que, dans le deuxième cas, une partie de l'armature est à l'intérieur alors que l'autre partie se situe à l'extérieur des sections de béton. La précontrainte par post-tension extérieure est bien adaptée à la conception d'ouvrages neufs, mais son principal attrait réside dans le renforcement d'ouvrages existants en béton armé, en béton précontraint, en acier et même en bois. 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. Le fait d'inspecter et éventuellement de remplacer les armatures de précontrainte situées à l'extérieur du béton représente un

atout important lié à la précontrainte extérieure. 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 le Bureau de normalisation du Québec (BNQ). Rappelons que le lien vers le BNQ se trouve sur le site intranet de la Direction de la recherche et de l'environnement.

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 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. Mentionnons 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 d'autant plus que cette dernière ne contribue pas à la capacité du système structural.

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. Dans le cas des barres d'acier à haute résistance, le diamètre de la gaine varie de 45 à 55 mm selon leur grosseur.

6.1.3 Coulis d'injection

Le coulis d'injection doit être conforme à la norme 3901 du Ministère. Seuls les coulis ensachés, apparaissant à la « Liste des matériaux relatifs au béton de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle se trouve sur le site internet du Ministère, 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 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 selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

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 15.4.2.1.2 « 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.

Mentionnons qu'il existe actuellement trois usines permanentes de fabrication de poutres au Québec. Ces usines sont :

- Les bétons préfabriqués du lac (usine de Saguenay);
- Les bétons préfabriqués du lac (usine de Saint-Eugène);
- Shokbéton (usine de Saint-Eustache).

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 2 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 *Stelwire* (Canada), *Titan Steel & Wire* (Canada), *Insteel Industries* (USA), *Trefileurope* (France), *Fontain Union* (Belgique), *Bridon Wire International* (Angleterre), *Tycsa / Cable* (Espagne) et *Haggie Wire & Strand* (Afrique du Sud). Par contre, si l'armature provient d'un autre fournisseur, le surveillant doit procéder au contrôle de réception, tel que cela est mentionné dans le CCDG.

6.3 BÉTON PRÉCONTRAIT 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 des structures 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.

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 7.4-1 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 post-contrainte plus qu'une autre. L'entrepreneur doit donc faire appel à l'une de ces entreprises qui utilisent un procédé de précontrainte approuvé par la Direction des structures.

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 événements 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 événements 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.

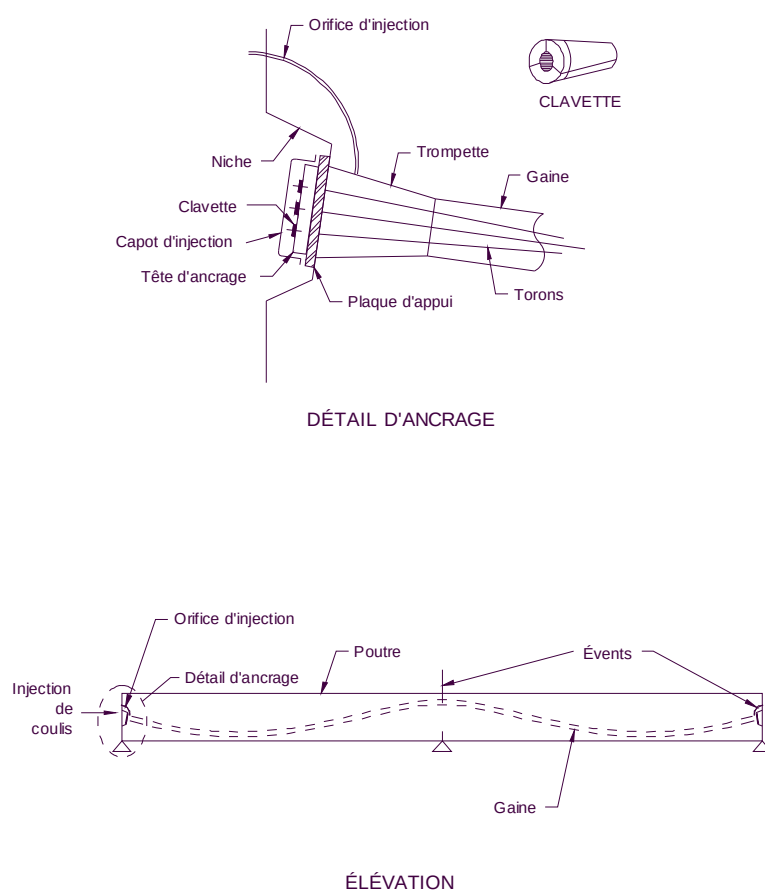


Figure 6.3-1 Description des parties du procédé de précontrainte par post-tension

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.

Les déviateurs sont constitués d'un élément structural capable de reprendre les efforts exercés par les armatures de précontrainte dans la zone de déviation et d'un dispositif assurant la géométrie de la déviation. Les déviateurs doivent résister aux forces longitudinales et transversales provenant des armatures de précontrainte et les transmettre à l'élément à renforcer. La déviation de l'armature de précontrainte au niveau des déviateurs doit se faire sans cassure angulaire du raccordement de deux tronçons droits coplanaires. En pratique, cela signifie que les extrémités des déviateurs doivent être à angle droit par rapport à l'armature de précontrainte située de part et d'autre.

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 attribuable 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.

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 endommagés 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 ± 3 mm (verticalement et horizontalement) par rapport aux profils indiqués dans les plans d'atelier. 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 rendus étanches par l'application d'un ruban adhésif résistant à l'humidité 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 événements et les valves, le cas échéant, qui doivent être disposés aux extrémités du tablier et aux points hauts des gaines pour éviter la formation de poches d'air dans la gaine, sont en place.

Mentionnons que le conduit pour l'injection du coulis doit aussi être mis en place adéquatement. Ces événements ou conduits d'injection ne doivent pas être placés à l'intérieur d'un chasse-roue, d'un trottoir ou d'une glissière en béton afin de ne pas réduire la durabilité de ces éléments; cela concerne surtout la précontrainte transversale et, à l'occasion, la précontrainte longitudinale située sous ces derniers.

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 Gains pour précontrainte extérieure

Les dispositifs permettant de raccorder les événements 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.

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. Cette méthode 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.

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 fretage des ancrages doit être faite selon les indications des plans d'atelier.

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 ferrailage 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 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.

De plus, rappelons que le raccourcissement élastique et la cambrure de la structure doivent se faire librement pour ne pas induire des pertes de précontrainte parasites lors de la mise en tension de l'armature de précontrainte. L'étalement et les coffrages, par exemple, ne doivent pas entraver la déformation de la structure lors de cette opération; pour ce faire, le surveillant doit se référer aux articles 15.4.3.1.3 « Attaches des coffrages » et 15.4.3.2 « Étalement » du CCDG.

Le surveillant doit se référer 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.

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. 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, qui doit se faire avec une précision d'au plus 2 mm, permet de détecter toute anomalie qui pourrait survenir durant la mise en tension.

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. Les valeurs de pression

au manomètre et d'allongement correspondant à cette tension initiale sont indiquées sur la procédure de précontrainte. Mentionnons que celle-ci correspond à environ 10 à 15 % de la force de précontrainte requise.

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 $\pm 5\%$ 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.

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 d'environ 10 mm, 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 (auquel il faut aussi ajouter le raccourcissement du câble à l'intérieur du vérin) de la valeur indiquée dans les plans d'atelier, le surveillant se doit d'arrêter les travaux et de consulter le concepteur. Il est important de mentionner que le glissement à l'ancrage n'est pas tenu en compte dans l'allongement final de l'armature de précontrainte.

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 théoriques des armatures correspondant proviennent de la procédure de précontrainte visée par le concepteur.

Transports Québec

**PRÉCONTRAINTE LONGITUDINALE
PAR POST-TENSION**

N° de dossier	Entrepreneur
N° de plan PO-	Firme en précontrainte

Résistance du béton		Capacité et modèle du vérin	
Exigée 30 MPa	Obtenu 34 MPa	H0Z 4000 / 250 4000 kN	
Câble n° 1	(19-T15)	Modèle de la pompe OTC PE 0004	
Aire du câble 2660 mm²	Contrainte ultime 1860 MPa	Modèle du manomètre SP-3	

Procédure de précontrainte						
Allongement des câbles (mm)			Pression au manomètre (PSI)			Glissement à l'ancrage (mm)
Prévu - 5 %	Prévu	Prévu + 5 %	Prévue - 5 %	Prévue	Prévue + 5 %	
460	485	510	6220	6550	6880	15

Mise en tension						
Extrémité _____			Autre extrémité (Lift off)			
Pression au manomètre (PSI)	Allongement (mm)	ΔL (mm)	$\Sigma \Delta L$ (mm)	Pression au manomètre (PSI)	Allongement (mm)	ΔL (mm)
1000	43					
2000	100	57	57	5900	155	
3000	180	80	137	6400	179	24
4000	265	85	222			
4400	295	30	252			
↖ Fin de la course du vérin ↘						
4400	61					
5000	116	55	→ 307			
6000	194	78	385			
6500	230	36	421	----- →	Mesure de démarrage	
					O @ 1000 psi	
					$\Delta L = 421 \text{ mm} \times \frac{1000 \text{ psi}}{(6500 \text{ psi} - 1000 \text{ psi})}$	
O @ 1000 psi	+ allongement initial				$\Delta L = 77 \text{ mm}$	
	↙ 215 ↘					
		77	→ 498			
	Glissement à l'ancrage	15 mm	← 230 - 215	Glissement à l'ancrage		mm

Réduction de l'aire du câble (basée sur le nombre de fils ou de torons brisés) _____ %

Remarques _____

Signature _____ Date _____

V-1889-A (2007-01)

Figure 6.3-2 Formulaire V-1889-A « Précontrainte longitudinale par post-tension »

**PRÉCONTRAINTÉ TRANSVERSALE
PAR POST-TENSION**

N° de dossier	Entrepreneur
N° de plan PO-	Firme en précontrainte

Résistance du béton	Capacité et modèle du vérin
Exigée 30 MPa	Obtenue 34 MPa
Aire du toron 140 mm ²	Modèle de la pompe
Contrainte ultime 1860 MPa	Modèle du manomètre

Procédure de précontrainte						
Allongement des câbles (mm)			Pression au manomètre (Psi)			Glissement à l'ancrage (mm)
Prévu - 5 %	Prévu	Prévu + 5 %	Prévue - 5 %	Prévue	Prévue + 5 %	
131	138	145	5800	6100	6400	15

Pression au manomètre (Psi)				Pression au manomètre (Psi)			
Mise en tension du toron n° 1				Mise en tension du toron n°			
Extrémité AMONT				Extrémité			
Allongement (mm)	Δ L (mm)	Σ Δ L (mm)		Allongement (mm)	Δ L (mm)	Σ Δ L (mm)	
1000	59						
6100	175	116	116				
	+ allongement initial	23	139		+ allongement initial		
	160						
Glissement à l'ancrage		15 mm		Glissement à l'ancrage		mm	

Pression au manomètre ()				Pression au manomètre ()			
Mise en tension du toron n°				Mise en tension du toron n°			
Extrémité				Extrémité			
Allongement (mm)	Δ L (mm)	Σ Δ L (mm)		Allongement (mm)	Δ L (mm)	Σ Δ L (mm)	
	+ allongement initial				+ allongement initial		
Glissement à l'ancrage		mm		Glissement à l'ancrage		mm	

Pression au manomètre ()				Pression au manomètre ()			
Mise en tension du toron n°				Mise en tension du toron n°			
Extrémité				Extrémité			
Allongement (mm)	Δ L (mm)	Σ Δ L (mm)		Allongement (mm)	Δ L (mm)	Σ Δ L (mm)	
	+ allongement initial				+ allongement initial		
Glissement à l'ancrage		mm		Glissement à l'ancrage		mm	

Remarques

Signature _____ Date _____

Figure 6.3-3 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, 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 torons 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 doit veiller à ce que le concepteur soit sur les lieux lors de l'injection du coulis. Cette précaution est importante, 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.

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 événements, sauf le dernier, 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 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 °C ou s'il est possible qu'elle chute sous 5 °C dans les 48 heures suivant l'injection. Le surveillant ne doit pas se préoccuper de cette exigence du CCDG si une protection de type 3 est utilisée lors du bétonnage par temps froid du tablier. Si une protection de type 3 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 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; le surveillant doit faire parvenir à la Direction des structures pour information une copie des lectures prises.

La température et la fluidité du coulis doivent être mesurées fréquemment pour s'assurer qu'elles respectent les exigences du devis spécial. La résistance à la compression du coulis doit, quant à elle, être mesurée selon les indications du CCDG; soit au moins un échantillon par jour d'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 assignée à cette tâche.

Tous les événements 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 événement 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 événement 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'étalement, 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'étalement.

6.3.3.6 Arasage de l'armature de précontrainte et cachetage

L'enlèvement des événements 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 événements.

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 est aussi nécessaire pour la mise en place d'une épaisseur de béton d'au moins 75 mm sur l'armature de précontrainte une fois l'injection terminée, 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.

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 PRÉCONTRAIT 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 2 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, 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 7.4-1 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 freiné 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.

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.

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 l'article 6.4.4.1 de ce manuel.

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, 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, qui sont bien au fait de cette problématique, n'ont pratiquement plus recours à la cure accélérée.

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 3 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 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 intranet de la Direction des structures. 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 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. Cet envoi se fait soit par fax, soit par courrier électronique.

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 territoriale du lieu d'emplacement de l'usine lorsque la fabrication se fait en dehors des limites de la direction territoriale du surveillant. La présence du représentant de la direction 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 territoriales, il est impossible que chaque direction 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 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 l'article 6.4.4.1 de ce manuel.

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 l'article 6.4.4.1 de ce manuel.

Mentionnons tout de même que 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 $\pm 5\%$ 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 l'article 6.4.4.1 de ce manuel.

Mentionnons que la mise en tension se fait 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; 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 plus souvent qu'autrement 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 si le nombre de non-conformités excède 4 par poutre, à moins qu'un procédé de protection supplémentaire approuvé par le surveillant ne soit appliqué sur la poutre; ce procédé consiste habituellement à la pose d'un imperméabilisant à béton mis en place selon les spécifications du Ministère à ce chapitre. Le surveillant se doit de consulter le concepteur lorsque plusieurs non-conformités concernant le ferrailage sont décelées sur une 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.

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 : 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 correspondant 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 les cratères et les nids de cailloux ayant une profondeur de plus de 12 mm 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 dommages 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. Si les poutres doivent être chargées, il est fortement recommandé de le faire à l'usine puisqu'il est très difficile de procéder au chargement des poutres au chantier voire très dangereux, par exemple au-dessus d'une route ou d'une voie ferrée, 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. 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 °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 devis spécial 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 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. Il est important de mentionner que le bétonnage des diaphragmes des piles n'ayant pas de joint de tablier doit être effectué en même temps que celui de la dalle afin d'éviter leur fissuration lors du bétonnage 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 chlorures vers les torons. Le surveillant peut 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

PRÉCONTRAINTÉ



1. Ancrage d'une armature de précontrainte



2. Armature de précontrainte



3. Touret (armature de précontrainte)



4. Armature de frettage



5. Mise en tension des armatures de précontrainte



6. Malaxeur colloïdal



7. Précontrainte extérieure



8. Précontrainte extérieure (renforcement)



9. Chargement de poutres préfabriquées



10. Transport d'une poutre préfabriquée



11. Mise en place d'une poutre préfabriquée



12. Contreventement temporaire

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 6 – PRÉCONTRAINTÉ

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

- ❖ 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
 - Utiliser l'un des coulis listés dans le devis spécial
- ❖ Ferrures
 - En acier non galvanisé

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

- ❖ Voir le chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).
- ❖ Se servir de la « Liste des matériaux relatifs au béton de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées » avant d'accepter un produit. Cette liste est sur le site internet du Ministère.
- ❖ Certification de l'usine (poutres NEBT)
 - CAN/CSA-A23.4 (voir 15.4.2.1.2 du CCDG)
- ❖ Torons
 - Attestation de conformité à obtenir
 - Contrôle de réception : inutile si fournisseur est *Stelwire, Titan Steel & Wire, Insteel Industries, Trefleurope, Fontain Union, Bridon Wire International, Tycsa I Cable ou Haggie Wire & Strand*

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

- ❖ Coulis d'injection
 - Contrôle de réception : 1 par jour (résistance à la compression)

BÉTON PRÉCONTRAIT EN PLACE

Documents requis

- ❖ Plans d'atelier et note de calcul de la précontrainte
 - Signés et scellés par un 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 des structures
 - 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
- ❖ Gaines pour précontrainte intérieure
 - Selon les profils des plans d'atelier (± 3 mm)
 - À fixer solidement (supports à moins de 600 mm c/c)
 - Raccordements : manchons étanches
 - Vérifier que les événements et valves sont bien en place (pas à l'intérieur des chasse-roues, trottoirs ou glissières)
- ❖ Gaines pour précontrainte extérieure
 - 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 événements et valves sont bien en place
 - Autres informations pour la précontrainte extérieure
 - Bloc d'ancrage sur structure existante avec poutres de béton précontraint
 - o Ne pas endommager les torons de la poutre
 - Déviateurs
 - o 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

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

- Insertion des torons
 - par tirage
 - coupe à la meule uniquement
- Ancrages
 - 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 fretage 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
- ❖ 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 15.4.3.1.3 du CCDG) et que l'étalement est conforme (voir 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)
 - 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
 - o Ne pas se tenir derrière le vérin (sécurité)
 - o Mesurer selon la pression au manomètre
 - o Vérifier selon l'allongement de l'armature (précision : 2 mm max.)
 - o Mesure de démarrage : voir procédure de précontrainte
 - o Jugée conforme si la pression au manomètre et l'allongement est à l'intérieur de l'écart de $\pm 5 \%$ de la valeur de la procédure de précontrainte. Si la pression au manomètre dépasse l'écart de « + 5 % » lors de la mise en tension, communiquer avec le concepteur
 - o Mesurer le glissement à l'ancrage après la mise en tension (vérifier par rapport à la valeur des plans d'atelier : écart permis de ± 2 mm + raccourcissement à l'intérieur du vérin)
 - o 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
- ❖ Injection du coulis
 - Dès que la mise en tension est terminée (jour même ou lendemain)

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
 - o Câbles multitorons : mettre capots d'injection
 - o Autres armatures : sceller avec béton ou mortier
 - Nettoyer les gaines (enlever eau et débris)
 - o Immédiatement avant l'injection
 - o Fermer tous les événements sauf le dernier
 - o 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 doit être présent sur le chantier
 - Préparé avec un malaxeur colloïdal (pression min. : 600 kPa, 1 500 rpm)
 - Noter au journal de chantier les lectures de la pression du manomètre de la pompe (à transmettre à la Direction des structures)
 - 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 événements avant de commencer à injecter
 - Injecter en une seule opération continue
 - Fermer les événements au fur et à mesure de la progression du coulis dans gaine
 - Fermer le dernier événement lorsque coulis sort régulièrement et sans dilution
 - Après la fermeture du dernier événement : maintenir la pression pendant 60 sec.
- Enlèvement de l'étalement : pas avant que le coulis n'atteigne 20 MPa
- ❖ Arasage de l'armature de précontrainte et cachetage
 - Enlèvement des événements
 - 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 PRÉCONTRAIT 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
- ❖ 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

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

Exigences de conception

- ❖ À l'intention du concepteur de la précontrainte

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)
 - Remplir le formulaire F309.1_NEBT (formulaire sur site intranet de la Direction des structures)
 - Personnes à inviter : concepteur, représentants (technicien et ingénieur responsable) du laboratoire mandaté pour le suivi en usine, représentant de la DT 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 (à venir, non disponible pour le moment)
 - Garnitures d'insertion et les tuyaux servant à fixer les contreventements temporaires et les diaphragmes permanents : enrobage de 40 mm
- ❖ Armatures et torons
 - Armature : vérifier enrobage (40 mm) avant de fermer les coffrages
 - Mise en tension d'un toron
 - Jugée conforme si la pression au manomètre et l'allongement est à l'intérieur de l'écart de « $\pm 5\%$ » 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
 - Remplir le formulaire F309.2_NEBT pour chaque poutre (formulaire sur site intranet de la Direction des structures)
 - 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

- ❖ À venir (non disponible pour le moment)
- ❖ Avant l'application de la précontrainte
 - Enlever les coffrages sur les 2 côtés de la poutre
 - Fissuration à noter au formulaire F309.2_NEBT

Câbles défectueux

- ❖ À venir (non disponible pour le moment)

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

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

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. Plus de 4 non conformités : rejet de la poutre à considérer, voir manuel)
- ❖ 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; 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 de ciment 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
 - Température
 - $T^{\circ} > 10^{\circ}\text{C}$ 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
 - o 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)

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

- 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
 - o Après que le béton des diaphragmes soit > 10 MPa
 - o Pas avant que le béton des poutres n'ait atteint f'_c
- Après l'enlèvement des contreventements ou autres ouvrages temporaires
 - Comblér les cavités avec un mortier cimentaire
 - o Voir article 15.4.3.5.11 du CCDG
 - o Température minimale du béton : 5° C

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

CHAPITRE 7

OUVRAGES EN ACIER ET EN ALUMINIUM

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	7-3
7.1 DOCUMENTS REQUIS	7-6
7.2 EXIGENCES DE CONCEPTION	7-13
7.3 MATÉRIAUX	7-14
7.3.1 Acier de construction	7-15
7.3.2 Aluminium	7-15
7.3.3 Boulons, tiges d'ancrage, écrous et rondelles en acier	7-16
7.3.4 Goujons	7-17
7.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ	7-18
7.4.1 Acier de construction	7-18
7.4.2 Aluminium	7-20
7.4.3 Boulons, tiges d'ancrage, écrous et rondelles en acier	7-20
7.4.4 Attestation de conformité des goujons	7-21
7.5 FABRICATION	7-21
7.5.1 Réunion préalable	7-21
7.5.2 Découpage	7-22
7.5.3 Perçage	7-22
7.5.4 Soudures	7-23
7.5.5. Prémontage en usine	7-34
7.6 MANUTENTION, TRANSPORT ET MONTAGE	7-35
7.6.1 Joints boulonnés	7-37

7.7	MODIFICATION OU RÉPARATION	7-53

7.8	MODE DE PAIEMENT	7-54

FIGURES

Figure 7.1-1	Visa type	7-8
Figure 7.1-2	Feuille de données de procédure de soudage – exemple	7-12
Figure 7.3-1	Identification des boulons à haute résistance	7-17
Figure 7.4-1	Carte de compétence d'un soudeur	7-19
Figure 7.5-1	Symbole de soudage	7-25
Figure 7.5-2	Symboles de soudure de base	7-26
Figure 7.5-3	Soudure d'angle – exemples	7-27
Figure 7.5-4	Soudure sur préparation des deux côtés avec pénétration complète et gougeage à l'envers	7-28
Figure 7.5-5	Symboles pour l'examen non destructif des soudures	7-32
Figure 7.5-6	Critères de contrôle pour des profils de soudures	7-34
Figure 7.6-1	Formulaire de vérification des boulons	7-44
Figure 7.6-2	Exemple de marquage du boulon et de l'écrou pour un serrage final à 1/3 de tour	7-51

PHOTOGRAPHIES	7-55

AIDE-MÉMOIRE	7-57

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, sous forme de plaques de grandes dimensions qu'il faut transformer en usine en éléments bien précis, c'est-à-dire le plus souvent en poutres.

Le terme « ouvrage en acier et en aluminium » du 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 et les structures de signalisation ou d'éclairage. Le terme désigne aussi tout élément en acier, tels les pieux, les appareils d'appui, les joints de tablier, les glissières et garde-fous, 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.

Le rôle du surveillant relativement aux travaux de fabrication de poutres principales réalisés en usine consiste tout d'abord à mandater la Direction du laboratoire des chaussées pour faire le suivi technique. Tel qu'il est exigé au CCDG, il consiste également à organiser la réunion préalable à la fabrication et à y participer, ainsi qu'à coordonner l'ensemble du dossier, notamment le suivi des communications après l'émission de mémos (notes) de chantier par le laboratoire indépendant mandaté par la Direction du laboratoire des chaussées. En effet, ce laboratoire agit comme le représentant du surveillant dans l'usine; celui-ci se sert du *Manuel de surveillance pour la fabrication en usine de la charpente métallique*, préparé par la Direction du laboratoire des chaussées pour effectuer le suivi en 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, par contre, 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 des travaux impliquant la fabrication d'appareils d'appui, de joints de tablier, de glissières et garde-fous ainsi que de drains, le surveillant doit en informer la Direction du laboratoire des chaussées 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 Direction du laboratoire des chaussées 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, au cours d'une réunion de chantier par exemple, doit être organisée afin que les exigences du Ministère et les particularités du projet soient bien comprises.

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 principalement les documents requis pour la fabrication et le montage de l'ouvrage en acier, y compris les travaux relatifs au boulonnage. À moins d'une indication contraire dans les documents contractuels, cette norme doit être respectée;

- le *Manuel de surveillance pour la fabrication en usine de la charpente métallique*, préparé par la Direction du laboratoire des chaussées. Ce manuel contient les exigences de fabrication des éléments d'un ouvrage en acier et sert de guide d'inspection pour la firme mandatée par le Ministère pour faire le suivi de l'assurance de la qualité. Il peut être d'une grande utilité pour le surveillant en cas de problèmes similaires au chantier;
- 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 dynamiques.

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
- 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
- ASTM A 194: Standard Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts for Bolts for High Pressure or High Temperature Service, or Both
- ASTM A 307: Standard Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 PSI Tensile Strength
- ASTM A 325: Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength
- ASTM A 434: Standard Specification for Steel Bars, Alloy, Hot-Wrought or Cold-Finished, Quenched and Tempered
- ASTM F 436 Standard Specification for Hardened Steel Washers (Metric)
- ASTM A 449 : Standard Specification for Quenched and Tempered Steel Bolts and Studs
- ASTM A 490 : Standard Specification for Structural Bolts, Alloy Steel, Heat Treated, 150 ksi Minimum Tensile Strength

- ASTM A 563 : 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 Yield Point, with Atmospheric Corrosion Resistance
- W47.1 (CSA) : Certification des compagnies de soudage par fusion de l'acier
- W178.1 (CSA) : Qualification des organismes d'inspection en soudage
- W178.2 (CSA) : Qualification des inspecteurs en soudage
- Norme 6101 du Ministère : Aciers de construction
- Norme 6201 du Ministère : Boulons, tiges d'ancrage, écrous et rondelles en acier

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 plans de montage ainsi que des dessins et des calculs du procédé de montage (ces derniers incluant les plans des contreventements et des ouvrages temporaires requis durant la construction). Ces exigences incluent 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

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.

Les plans d'atelier devraient contenir les renseignements suivants :

- les détails des joints de chantier des poutres principales et situer leur emplacement, s'ils ne sont pas indiqués aux plans;
- 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.

Lorsque l'entrepreneur désire 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 tel que 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.

Il est habituellement demandé dans les plans que les filets des boulons ne soient pas interceptés par les plans de cisaillement; ainsi, 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. 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.

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.

Le surveillant doit faire viser par le concepteur les plans d'atelier et la note de calcul des joints de chantier des poutres principales non montrées 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 l'estampe type utilisée 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.

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

Par : _____ Date : _____

Figure 7.1-1 Visa type

Une fois la fabrication terminée, l'entrepreneur doit fournir 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. Cette exigence est nécessaire étant donné que le marquage des pièces en usine ne se fait plus à cause des problèmes de lecture occasionnés par le 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.

Plans de montage ainsi que les dessins et calculs du procédé de montage

Il est exigé au CCDG que l'entrepreneur fournisse au surveillant les plans de montage de l'ouvrage en acier; les dessins et les calculs du procédé de montage doivent accompagner ces plans. Ces documents doivent être préparés en conformité avec les exigences du CCDG. Les plans de montage doivent inclure les détails concernant les ouvrages temporaires servant à la manipulation des poutres.

Puisque le concepteur n'est pas responsable de l'intégrité de l'ouvrage métallique en ce qui concerne les efforts associés au montage, l'entrepreneur doit vérifier ces efforts et procéder aux calculs démontrant la stabilité de l'ouvrage en acier durant ces opérations.

Les plans de montage sont des dessins d'agencement général indiquant 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.

Les dessins et les calculs du procédé de montage doivent 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 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 dessins et les calculs du procédé de montage doivent inclure les contreventements et les ouvrages temporaires décrits au CCDG.

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 les plans des contreventements et des ouvrages temporaires requis durant la construction.

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 dessins et calculs du procédé de montage mentionné précédemment.

Les plans de montage doivent être signés et scellés par un ingénieur. Ces plans doivent être visés par le concepteur alors que les dessins et calculs du procédé de montage 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 vérifier ces derniers de façon à s'assurer que les renseignements 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 dessins et calculs du procédé de montage sont signés et scellés par un ingénieur.

Documents relatifs au boulonnage

Il est exigé au CCDG que l'entrepreneur fournisse au surveillant, deux semaines avant le début du montage au chantier, le certificat d'étalonnage de l'appareil servant à mesurer la tension des boulons et la procédure de boulonnage.

Le certificat d'étalonnage de l'appareil doit être remis au surveillant avant d'entreprendre la vérification des boulons; ce certificat doit dater de moins de douze mois.

La procédure de boulonnage 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. 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'**échancier 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. Pour ce faire, l'entrepreneur doit également remettre la lettre de qualification de l'ingénieur en soudage du fabricant et la carte de qualification de l'inspecteur en soudage affecté aux travaux. Dans le cas des drains et des drains d'interface, l'inspecteur en soudage peut être remplacé par un superviseur en soudage pourvu que sa carte de qualification soit remise au surveillant;
- le **certificat de qualification** de l'entreprise chargée des travaux de soudage. De plus, l'entrepreneur doit aussi remettre les rapports de qualification (cartes de compétence) valides des soudeurs, des opérateurs de machine à souder et des pointeurs. Ces documents sont délivrés par le Bureau canadien de soudage;
- le **nom du laboratoire** d'inspection en soudage chargé d'effectuer les examens non destructifs des soudures pour le compte de l'entrepreneur. L'entrepreneur doit également remettre le certificat de qualification du laboratoire et la lettre de validation annuelle; le surveillant doit aussi demander les cartes d'inspecteur en soudage valides des personnes travaillant pour cet organisme;

L'organisme chargé d'effectuer les examens non destructifs des soudures doit être certifié par le Bureau canadien de soudage selon les exigences de la norme W178.1. Cet organisme est un laboratoire enregistré mandaté par l'entrepreneur.

Le certificat de l'organisme chargé d'effectuer les examens non destructifs et les cartes des inspecteurs qualifiés (selon les exigences de la norme W178.2) délivrés par le Bureau canadien de soudage doivent être vérifiés par le surveillant avant le début des travaux au chantier. Le surveillant peut vérifier sur le site Internet du Bureau canadien de soudage si l'organisme 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.

La procédure de soudage doit au besoin indiquer la façon de réduire au minimum les contraintes dues au retrait ainsi qu'à la déformation. Elle doit aussi établir clairement le préchauffage à effectuer ainsi que les opérations de postchauffage lors du refroidissement de l'acier une fois les soudures terminées.

Les feuilles de données 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;

- la **liste des ouvrages en acier** conçus selon la norme CAN/CSA-S6 « Code canadien sur le calcul des ponts routiers » que le fabricant a réalisé 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; mentionnons que le domaine des ponts se distingue beaucoup de celui des bâtiments, par exemple. Un fabricant sans aucune expérience en ponts va demander beaucoup plus d'énergie de la part du surveillant pour compenser ce manque d'expérience. De plus, il est aussi exigé au devis spécial que l'entrepreneur fournisse le nom du fabricant de l'ouvrage en acier et lorsque c'est le cas, des sous-traitants de ce fabricant. Cette dernière exigence est importante pour organiser et planifier correctement la surveillance en usine;
- 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 transportées avec l'âme en position verticale à cause de leur grande profondeur, afin d'éviter des déformations permanentes dans la poutre et des amorces de fissures occasionnées par la vibration.

Les plans du système de support et la note de calcul l'accompagnant 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 le système de support qui y apparaît semble convenir 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 du système de support sont signés et scellés par un ingénieur; de même, il doit s'assurer 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.

7.2 EXIGENCES DE CONCEPTION

Les exigences de conception s'adressent d'abord et avant tout au concepteur 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. Si aucun joint de chantier n'est montré dans les plans et que l'entrepreneur désire en prévoir, le joint doit être conçu selon les exigences du CCDG. À la demande de l'entrepreneur, le surveillant doit lui fournir les valeurs des efforts à l'emplacement du joint; le surveillant se doit de consulter le concepteur à ce sujet.

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.

L'électrode enrobée est composée d'une âme métallique recouverte d'un enrobage qui lui donne des caractéristiques opératoires et des propriétés particulières. L'arc électrique qui est maintenu entre l'extrémité de l'électrode fusible et le métal à souder fait fondre l'électrode; le métal de celle-ci ainsi transféré à l'arc se mélange dans le bain de fusion au métal de base. L'âme et l'enrobage de l'électrode en fondant forment un bouclier gazeux qui empêche l'air d'entrer en contact avec le métal fondu. 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.

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 350 A et 350 AT), 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 de données de la procédure de soudage dont le numéro est indiqué dans la queue du symbole de soudage dans les plans d'atelier.

Les électrodes 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.

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 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, les tolérances dimensionnelles des plaques et des profilés, l'identification des produits ainsi que les traitements thermiques.

La deuxième norme définit les types 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. Mentionnons que l'acier fabriqué selon la norme ASTM A 588 grade B est considéré équivalent à l'acier 350A fabriqué selon la norme CAN/CSA-G40.21.

La nuance de l'acier est désignée par un nombre, correspondant à la valeur nominale garantie de la limite élastique (F_y), suivi d'une ou deux lettres identifiant le type d'acier, soit les lettres W, WT, A et AT :

- W : acier soudable convenant aux constructions générales soudées lorsque la résilience n'est pas de première importance;
- WT : acier soudable à résilience améliorée à basse température convenant aux constructions soudées où la résilience est de première importance;
- A : acier soudable résistant à la corrosion atmosphérique convenant aux constructions générales soudées lorsque la résilience n'est pas de première importance;
- AT : acier soudable résistant à la corrosion atmosphérique à résilience améliorée à basse température convenant aux constructions soudées où la résilience est de première importance.

7.3.2 Aluminium

L'aluminium n'est pas considéré dans ce chapitre parce que les structures de signalisation et d'éclairage ne le sont pas.

7.3.3 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 A 3/47, A 325 et A 490. Les boulons à haute résistance sont identifiés par le symbole A 325 ou A 490 et sont fabriqués selon les unités impériales; ces boulons sont généralement utilisés dans les ouvrages en acier. Les boulons A 490 sont employés lorsque la capacité des boulons A 325 s'avère insuffisante pour résister aux efforts soumis sur l'assemblage.

Lorsque des boulons à haute résistance sont employés, des écrous fabriqués selon la norme ASTM A 563 ou ASTM A 194 doivent être utilisés. De plus, les rondelles doivent être en acier trempé et répondre aux exigences de la norme ASTM F 436.

L'identification des boulons à haute résistance, des écrous et des rondelles est représentée à la figure 7.3-1. Pour les boulons, le symbole du fabricant, le grade d'acier et le type doivent être inscrits sur la tête du boulon conformément aux exigences de la norme. Les boulons à haute résistance A 325 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. Les boulons A 490 ne sont jamais galvanisés en raison d'un risque de fragilisation à l'hydrogène.

Pour les écrous, le symbole du fabricant et celui du type d'acier doivent être inscrits sur chacun d'eux; le type DH (ASTM A 563) et 2H (ASTM A 194) doit être utilisé lorsque les boulons sont galvanisés.

Des boulons ordinaires, identifiés par le symbole A 307, sont utilisés dans les éléments secondaires des glissières en acier.

Les tiges d'ancrage qui servent à retenir les garde-fous en acier sont fabriquées à partir d'un acier A 307 grade C. 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 A 434 ou A 449 à cause des sollicitations importantes imposées à ces éléments. Les tiges d'ancrage employées pour retenir les appareils d'appui sont faites d'un acier répondant à l'une de ces trois normes, selon l'importance des efforts.

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 lubrifiés afin de faciliter le serrage; ce lubrifiant doit être coloré pour permettre au surveillant de s'assurer facilement que les boulons sont vraiment lubrifiés.

TYPE	ASSEMBLAGE A325		ASSEMBLAGE A490	
	BOULON	ÉCROU ASTM A563	BOULON	ÉCROU ASTM A563
1		    		

7.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

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 W47.1. Le CCDG exige que l'entreprise soit certifiée selon la division 1 ou 2; cependant, la division 3 est suffisante pour, les drains, les drains d'interface ainsi que les glissières et les garde-fous. Par contre, il est permis par le devis spécial, que les soudures d'étanchéité au droit d'un joint d'assemblage boulonné d'un joint de tablier puissent être réalisées par un soudeur relevant d'une entreprise certifiée division 3.

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 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 les divisions 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 W47.1.

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 W47.1. De plus, ils doivent être qualifiés selon les positions de soudage exigées par les travaux : à plat, à l'horizontale, à la verticale ou au plafond. Les soudeurs doivent également être qualifiés selon le type d'électrode

spécifié dans la feuille de données de la soudure à réaliser, et selon le procédé de soudage employé. Mentionnons que le soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW : *Shield Metal Arc Welding*) est le procédé auquel on a le plus recours au chantier. Les procédés de soudage à l'arc avec fil fourré (FCAW : *Flux Cored Arc Welding*) et le soudage à l'arc submergé (SAW : *Submerged Arc Welding*) sont quant à eux surtout utilisés en usine.

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.



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 Direction du laboratoire des chaussées pour le suivi des travaux. Pour des travaux de réparation, celle-ci est remise par l'entrepreneur au surveillant lorsque la Direction du laboratoire des chaussées n'effectue pas de contrôle en usine.

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 Direction du laboratoire des chaussées 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.

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.

7.4.2 Aluminium

L'aluminium n'est pas considéré dans ce chapitre parce que les structures de signalisation et d'éclairage ne le sont pas.

7.4.3 Boulons, tiges d'ancrage, écrous et rondelles en acier

7.4.3.1 Attestation de conformité

Bien que les boulons, les écrous et les rondelles en acier répondent chacun à une norme précise, leurs propriétés peuvent varier légèrement entre deux fabricants donnés et même entre deux lots de production d'un même fabricant. Bien que le surveillant s'attende à recevoir l'attestation de conformité de ces pièces sous la forme de papiers remis par l'entrepreneur, ce n'est pas souvent le cas. En fait, l'attestation de conformité est presque toujours collée sur le couvercle de chacun des contenants livrés au chantier; si c'est le cas, le surveillant se doit alors de prendre une photo numérique de chaque dessus de couvercle et, après s'être assuré de la conformité des produits, de déposer une copie papier de ces photos au dossier de surveillance.

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 de la partie 7.6.1.1 « Mise en place des boulons » du présent chapitre.

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 choisi parmi ceux qui apparaissent sur la liste des bases de goujons qualifiées par le Bureau canadien de soudage.

7.5 FABRICATION

Il est important de mentionner qu'il est interdit au CCDG de courber 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.

Une fois la fabrication terminée, 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, dans le but de faire disparaître la calamine et ainsi 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 des pièces est effectuée en usine, selon les exigences de l'article 15.7.6.1 du CCDG. Le surveillant doit consulter la partie 7.6.1 « Joints boulonnés » de ce chapitre pour plus de détails.

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. 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 Direction du laboratoire des chaussées. L'ordre du jour doit comprendre la remise des documents requis et l'échéancier de fabrication; il doit aussi inclure les points suivants :

- les responsabilités des intervenants concernant l'inspection en usine;
 - la nécessité ou non pour l'entrepreneur de présenter un plan de prémontage.
- Cette nécessité est encadrée à l'article 15.7.5. 5 du CCDG.

Il est important de mentionner que la réunion n'a lieu qu'une fois les plans d'atelier visés par le concepteur. Cette exigence du CCDG 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 lors du début de la fabrication.

7.5.2 Découpage

Le présent chapitre ne traite pas du découpage des pièces métalliques parce que ces opérations sont généralement réalisées en usine et, par conséquent, elles sont traitées dans le *Manuel de surveillance pour la fabrication en usine de la charpente métallique*, préparé par la Direction du laboratoire des chaussées.

Pour des travaux de découpage qui pourraient s'effectuer au chantier dans le cadre d'un projet de réparation, il est tout de même important de souligner que le découpage au chalumeau est interdit pour éviter d'avoir des lignes de coupes non rectilignes. 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. Malgré ce qui précède, 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. Les plans d'atelier « tels que construits » sont utilisés en remplacement du poinçon (et des étiquettes code barre utilisées par certains fabricants) comme indiqué précédemment 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.

Les exigences relatives aux caractéristiques que les trous d'un même assemblage doivent avoir une fois le perçage terminé sont fixées au CCDG. Ces exigences sont les suivantes lors de l'assemblage :

- au moins 75 % des trous de l'assemblage doivent laisser passer une cheville d'un diamètre de 3 mm plus petit que le diamètre du trou avant l'alésage;

- 100 % des trous de l'assemblage doivent laisser passer une cheville d'un diamètre de 5 mm plus petit que le diamètre du trou avant l'alésage;
- au moins 85 % des trous percés au diamètre final ne doivent pas être décentrés de plus de 1 mm par rapport aux trous des pièces assemblées adjacentes.

Ces exigences permettent de diminuer le plus possible le surdimensionnement des trous d'un assemblage composé d'un grand nombre de pièces métalliques une fois l'alésage effectué.

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.

Le perçage au chantier doit être effectué au moyen d'une mèche 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 dessins d'atelier de l'ouvrage, il n'est jamais certain que celles-ci aient été fabriquées exactement comme cela est indiqué sur ces dessins. Durant le perçage, la foreuse est habituellement fixée à la pièce au moyen d'un électro-aimant afin d'assurer la perpendicularité des trous.

7.5.4 Soudures

Cette partie du chapitre traite uniquement des soudures réalisées au chantier. Les soudures effectuées à l'usine sont couvertes par le *Manuel de surveillance pour la fabrication en usine de la charpente métallique*, préparé par la Direction du laboratoire des chaussées.

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 défavorables d'un chantier.

Toutes les soudures réalisées au chantier sont indiquées dans les plans scellés ou visés par le concepteur et elles se limitent souvent aux appareils d'appui et aux pieux. Il est par conséquent interdit d'effectuer une soudure non montrée dans ces plans; il est également interdit de faire des soudures temporaires. Cette interdiction est indiquée à l'article « Exigences générales » du devis spécial. 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 » 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 enrobée.

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 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.

Symboles de soudage – généralités

Toutes les soudures doivent être réalisées conformément aux symboles de soudage spécifiés dans les plans. La figure 7.5-1 montre les symboles de soudage couramment utilisés.

Un symbole de soudage fournit l'information nécessaire au soudeur; il se compose d'un certain nombre d'éléments standards, notamment :

- la ligne de référence;
- la flèche;
- les symboles de soudure de base pour la préparation des pièces et pour le type de soudure;
- les dimensions de la soudure (symbole S sur la figure 7.5-1 indique la dimension des côtés d'une soudure d'angle);
- les symboles supplémentaires comme la soudure périphérique et la soudure au chantier;
- la queue.

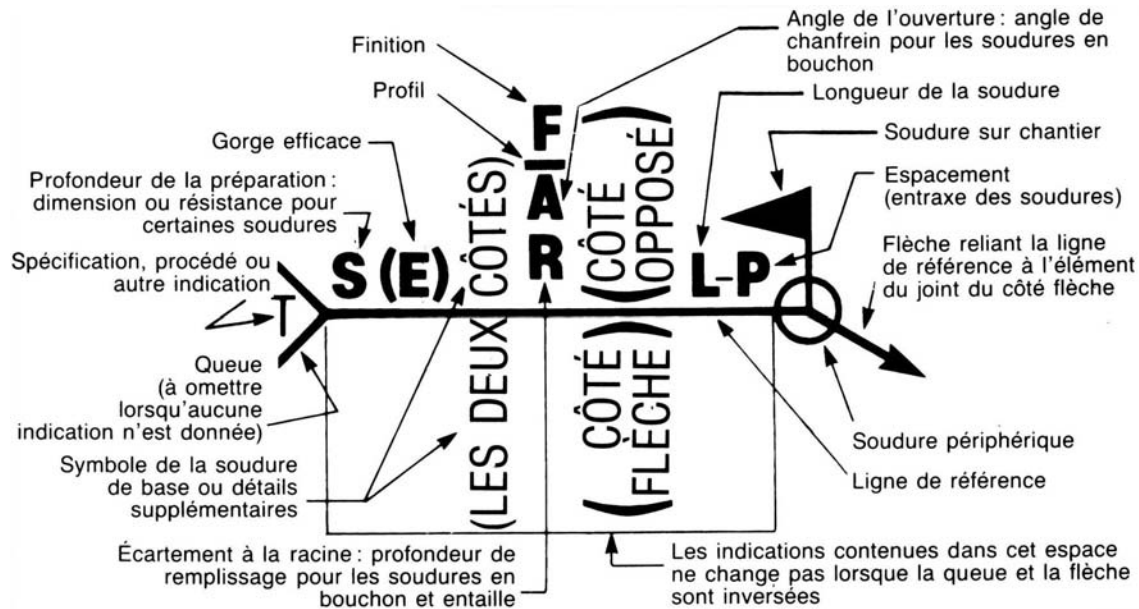


Figure 7.5-1 Symbole de soudage

Signification des principaux éléments d'un symbole de soudage

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.

Flèche

La flèche pointe le joint à souder et est reliée à la ligne de référence. Les opérations inscrites au-dessus 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 7.5-2. 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.

	TYPES DE SOUDURE	SYMBLES DE SOUDURE
Soudures sur préparation	À bords droits	
	En V	
	En demi-V	
	En J double	
	En demi-V double à bord tombé	
Soudures d'angle		
Soudures en bouchon		

Figure 7.5-2 Symboles de soudure de base
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.

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 7.5-3 montre deux exemples illustrant la façon de représenter une soudure d'angle.

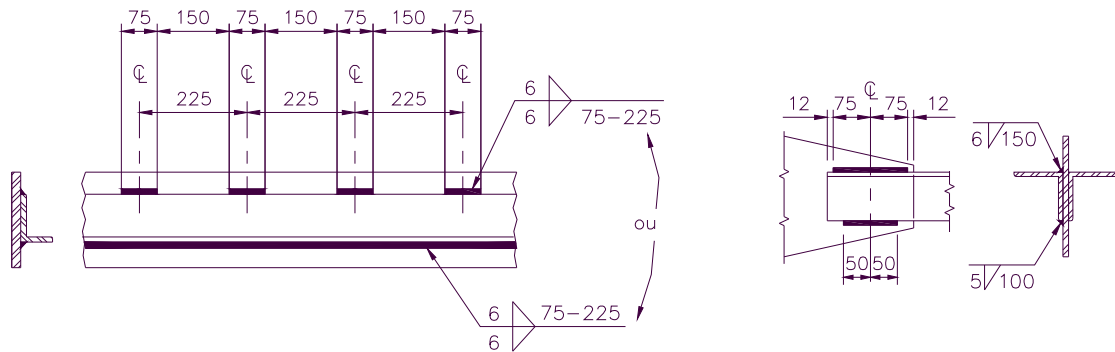


Figure 7.5-3 Soudure d'angle – exemples

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. La figure 7.5-4 montre un exemple d'une soudure avec gougeage à l'envers.

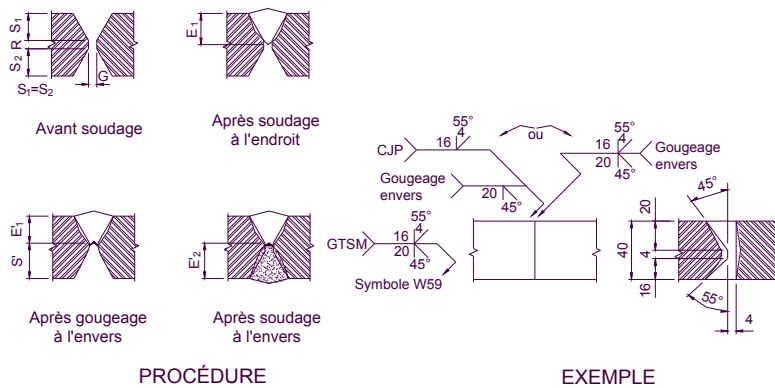


Figure 7.5-4 Soudure sur préparation des deux côtés avec pénétration complète et gougeage à l'envers

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, dans un rayon de 50 mm d'une soudure, de calamine non adhérente, de laitier, de rouille écaillée, de peinture, de zinc, de graisse et d'huile.

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 est généralement réalisé au moyen d'un chalumeau au propane. 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.

Le soudage ne doit pas être effectué lorsque la température ambiante est inférieure à - 18 °C. Lorsque la température ambiante est inférieure à 0 °C, le métal de base doit être préchauffé à au moins 10 °C; cette température doit être maintenue pendant toute la durée du soudage.

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.

Mentionnons que la température de préchauffage des surfaces doit être vérifiée au moyen d'un thermomètre à infrarouge.

Soudage des goujons

Les goujons à installer au chantier le sont généralement à l'aide d'une machine à souder automatique 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 :

- 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;
- au moins 1 goujon sur 150 doit subir un essai de pliage selon un angle de 15 °. L'essai de pliage doit se faire progressivement 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;
- tout goujon réparé par soudage ou remplacé doit être soumis à un essai de pliage;

- 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. Le surveillant se doit de consulter le concepteur ou la Direction du laboratoire des chaussées pour toute information à ce sujet;
- les goujons qui ne présentent aucune défaillance à la suite de l'essai de pliage peuvent 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 Direction du laboratoire des chaussées pour toute information à ce sujet.

Soudures sur des pièces galvanisées

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. 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 » traite uniquement des soudures réalisées au chantier; l'assemblage de poutres est décrit en détail dans le *Manuel de surveillance pour la fabrication en usine de la charpente métallique*, préparé par la Direction du laboratoire des chaussées.

7.5.4.2 Contrôle des soudures

Le surveillant doit vérifier les points suivants avant le début des travaux de soudage au chantier :

- les soudeurs sont qualifiés;
- 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 de l'entreprise certifiée est au chantier pour réaliser le contrôle visuel des soudures;

- les examens non destructifs sont réalisés par un organisme qualifié;
- un four à électrodes fonctionnel est sur place.

Le surveillant doit se référer 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 Direction du laboratoire des chaussées s'il juge que ses connaissances sont insuffisantes dans le domaine du soudage.

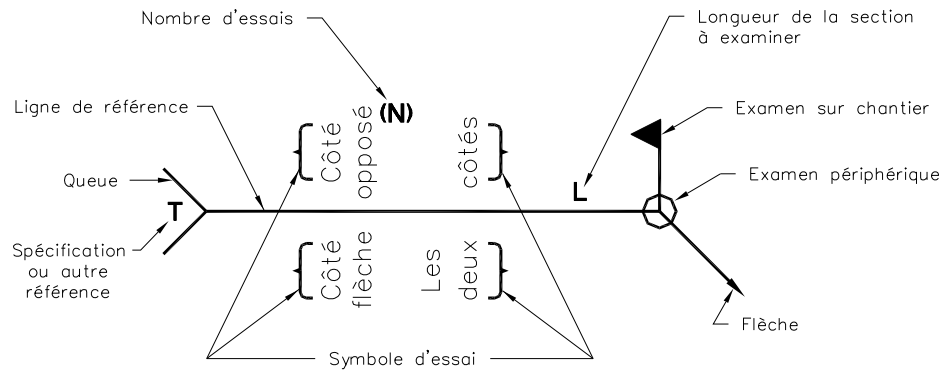
Contrôle par examens non destructifs

Ce contrôle est généralement réalisé au chantier uniquement pour les joints soudés des pieux, pour fixer les appareils d'appui et, lorsque cela est demandé dans les plans, pour les travaux de réparation. Pour les soudures soumises aux examens non destructifs, (autres que l'examen visuel) le procédé utilisé et l'étendue de l'examen de chaque soudure sont spécifiés dans les plans et devis. À défaut d'une indication dans les plans et devis, les exigences du CCDG s'appliquent.

Les contrôles par examens non destructifs devraient être faits en présence du surveillant. Pour ce faire, le CCDG prévoit que le surveillant doit être avisé au moins 12 heures avant la réalisation des examens.

Outre l'examen visuel, 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 surtout utilisée pour la vérification 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. Mentionnons que l'examen visuel constitue la seule méthode utilisée pour contrôler les soudures servant à fixer les appareils d'appui aux poutres sauf si indiqué autrement dans les plans.

La figure 7.5-5 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.



Symboles des examens:

VT: Inspection visuelle

MT: Magnétoscopie

RT: Radiographie

PT: Ressuage

UT: Ultrasons

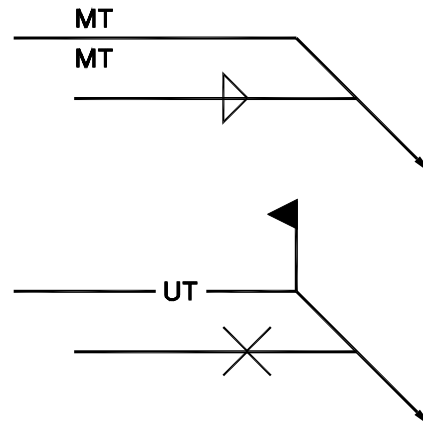


Figure 7.5-5 Symboles pour l'examen non destructif des soudures

Examen visuel

L'examen visuel est une méthode d'inspection qui sert de base à l'acceptation de plusieurs pièces soudées au chantier. Il est effectué par l'inspecteur en soudage avant, pendant et après le soudage de façon à ce que toutes les soudures soient vérifiées à 100 %.

Avant le soudage, l'inspecteur 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 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 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 7.5-6 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.

Magnétoscopie

L'examen magnétoscopique consiste à appliquer des aimants, des électro-aimants ou un courant électrique à des matériaux ferro-magnétiques de façon à produire un champ magnétique. Lorsque le matériau présente une discontinuité, le champ magnétique est interrompu et les lignes d'induction contournent le défaut. Une poudre magnétique dispersée sur la pièce se concentre alors à l'endroit du défaut, le faisant apparaître à la surface de la pièce examinée. Cette méthode permet de déceler des défauts de surface sur les soudures.

Ultrasons

L'examen par ultrasons s'effectue en faisant circuler à l'intérieur d'une soudure un faisceau d'ondes ultrasonores émises à la surface de la pièce par un palpeur en contact avec cette dernière. Si le faisceau rencontre une discontinuité, il se produit un écho qui est reçu par le palpeur, puis amplifié. Les émissions d'ondes ultrasonores sont reproduites sur l'écran d'un oscilloscope. Cette méthode permet de déceler des défauts à l'intérieur des soudures.

Rapport

Les vérifications de l'inspecteur 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 en soudage attestant que les soudures sont conformes aux exigences. Cette façon de faire est nécessaire pour ne pas retarder les travaux, notamment ceux concernant l'enfoncement des pieux.

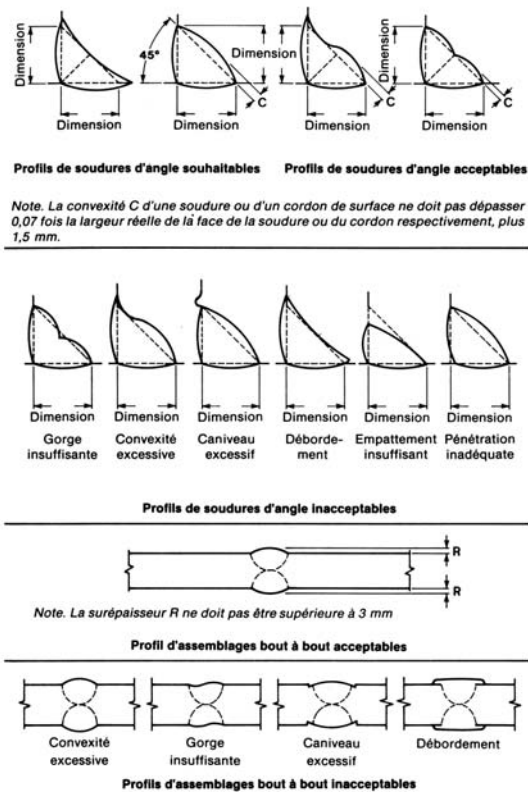


Figure 7.5-6 Critères de contrôle pour des profils de soudures

7.5.5. Prémontage en usine

Le prémontage en usine des poutres 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 devrait contacter le laboratoire mandaté par la Direction du laboratoire des chaussées pour s'en assurer.

Dans le cas d'une travée d'une très grande longueur où il est impossible d'avoir au moins 3 sections, le surveillant doit s'attendre à recevoir un plan de prémontage au moins 14 jours avant de procéder au prémontage comme tel. 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.

7.6 MANUTENTION, TRANSPORT ET MONTAGE

Avant le montage de l'ouvrage, l'entrepreneur doit vérifier le niveau et la localisation des appuis permanents des poutres afin de respecter les plans et devis. Bien que cette tâche revienne à l'entrepreneur, il n'est pas interdit que le surveillant fasse aussi cette vérification; il devrait, par contre, s'assurer que l'entrepreneur ne compte pas sur lui pour cette vérification, puisque ce dernier doit faire sa propre vérification. En cas de non-conformité, le surveillant se doit d'en informer le concepteur pour s'enquérir de la conduite à retenir.

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).

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 surveillant doit s'assurer d'avoir ces plans 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.

Manutention au chantier

Les composants de l'ouvrage doivent être entreposés d'aplomb sur des supports en bois de manière à ne pas être en contact avec le sol, ni exposés à des contraintes et à des déformations excessives afin de ne pas subir de dommages.

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.

Les pièces métalliques endommagées doivent être réparées ou remplacées avant leur installation selon les modalités de l'article 7.10 « Travaux défectueux » 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 A 325; 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.

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 dessins 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 dessins 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. 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 les contreventements et les ouvrages temporaires mentionnés aux dessins et aux calculs du procédé de montage (voir partie 7.1 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 temporaires sont en

place, y compris ceux situés en travée. Cet ingénieur, qui peut être différent de celui qui a préparé les dessins et les calculs du procédé 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 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 doivent être percés au chantier, puisqu'on ne peut connaître à l'avance l'écart de hauteur entre les deux portions de la travée.

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 les monteurs d'acier à faire attention puisqu'ils auront 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 article 15.4.3. 5.11 du CCDG).

Le surveillant doit se référer à la partie 7.5.4.2 « 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 concernant les joints boulonnés se retrouvent au CCDG à l'exception des notions relatives à l'interdiction de l'alésage des trous au chantier, de la réunion préalable à la mise en place des boulons des joints de chantier des poutres principales et de l'avis de l'entrepreneur concernant la mise en place des boulons. Ces 3 dernières notions se retrouvent plutôt au devis spécial.

Préparation des surfaces

Dans le cas des assemblages de type antiglisement, qui est rappelons-le le type d'assemblage le plus utilisé pour les ponts, 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 lorsqu'elles ne sont pas galvanisées. La préparation des surfaces est nécessaire pour plusieurs raisons, notamment pour augmenter le coefficient de frottement de l'acier dans le cas des assemblages antiglisement et pour améliorer l'étanchéité de tous les types d'assemblages.

Un assemblage antiglisement est conçu de manière à transmettre les efforts par frottement entre les pièces assemblées alors que l'assemblage par contact transmet les efforts par la butée des boulons contre les pièces assemblées. L'assemblage antiglisement transmet donc les efforts grâce au frottement généré par le serrage des boulons exerçant une force de compression sur les pièces assemblées. La résistance au glissement par frottement est d'autant plus grande que la force qui comprime les pièces assemblées est importante et que le coefficient de frottement 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.

Mentionnons qu'un assemblage antiglisement 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.

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 frottement. 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, puisque cette dernière activité endommagerait la peinture déjà appliquée. Un dégraissage à l'aide d'un solvant doit précéder le peinturage. Après l'assemblage des pièces, les surfaces d'acier adjacentes aux assemblages, dont le revêtement anticorrosion a été altéré, doivent être retouchées selon les exigences de l'article 15.14.4.3.2 g) « Retouches » du CCDG.

Livraison et entreposage des boulons

Les boulons, écrous et rondelles doivent être livrés sur le chantier dans des contenants scellés à l'usine du fournisseur; 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 fort 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.

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.

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. Mentionnons que les 2 principaux fournisseurs de boulons sur les projets du Ministère sont Amcan-Jumax et Industries Desormeau inc.

7.6.1.1 Mise en place des boulons

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 pour les joints de chantier des poutres principales;
- la vérification de la tension minimale des boulons;
- l'alignement des poutres principales;
- le serrage à bloc des boulons;
- le marquage des boulons;
- le serrage final des boulons;
- l'avis de l'entrepreneur.

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 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 deux étapes principales : le serrage à bloc et le serrage final des boulons.

Boulons permanents

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 marquer la pièce à assembler. Il faut utiliser des rondelles aux deux extrémités lorsqu'on emploie des boulons de type A 490 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 de 1:20 et plus, des rondelles biseautées sont requises.

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 dessins d'atelier quant à ces exigences.

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 $15 \% \pm 3 \%$ 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 la 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, que 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. Une bonne façon de procéder consiste à utiliser des équipements ayant une capacité maximale ne dépassant pas de beaucoup la limite de 15 % mentionnée au paragraphe précédent, empêchant ainsi tout dépassement par inadvertance.

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. Cette méthode permet de savoir si l'ajustement et le boulonnage des membrures se feront ou non sur des bancs temporaires et si des boulons temporaires mis en place et serrés sans aucun contrôle seront utilisés au moment de l'alignement des sections de poutres.

Réunion préalable à la mise en place des boulons des joints de chantier

La réunion préalable à la mise en place des boulons 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 Direction du laboratoire des chaussées.

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 le représentant de la Direction du laboratoire des chaussées. 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; de plus, cette façon de faire nous assure d'éviter de reporter la réunion préalable à plus tard, entraînant ainsi une perte de temps pour tous les intervenants qui se sont présentés en vain à la réunion.

Vérification de la tension minimale des boulons (contrôle de réception)

Avant de commencer la pose des boulons, l'entrepreneur doit vérifier, au moyen d'un appareil d'étalonnage (tensiomètre), que la tension minimale exigée au serrage final, en appliquant la méthode de la rotation de l'écrou, sera atteinte. Il s'agit en fait de valider la procédure de boulonnage proposée par l'entrepreneur. L'entrepreneur doit vérifier la tension sur trois boulons assemblés (boulon, écrou et rondelle) pour chaque lot de production de boulons assemblés (même type, même nuance et mêmes dimensions), ce qui signifie un grand nombre d'essais à réaliser. Précisons qu'un lot de production de boulons assemblés est constitué de boulons provenant d'un même lot de production (coulée d'acier), d'écrous provenant d'un même lot de production (coulée d'acier) et de rondelles provenant d'un même lot de production (coulée d'acier).

Cette vérification doit être faite en présence du surveillant.

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 à la mise en place 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 la 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, le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur gère correctement son inventaire de boulons assemblés au chantier.

La figure 7.6-1 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 quatre reprises : d'abord pour le serrage à bloc, ensuite au serrage final moins 30°, puis au serrage final et finalement, au serrage final plus 30°. Il faut restreindre la tolérance en moins si la tension minimale mesurée est inférieure à celle requise une fois le serrage final terminé; cette tolérance en moins diminuée doit être indiquée clairement sur le formulaire et sur les contenants de boulons assemblés.

Ce formulaire est disponible sur le site intranet de la Direction des structures.

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.

CONTRÔLE DE RÉCEPTION DES BOULONS
VÉRIFICATION DE LA TENSION MINIMALE (CCDG : art. 15.7.6.1)

1. INFORMATIONS DIVERSES						
N° de dossier (contrat): _____		Route: _____		Obstacle: _____		
N° de plan: _____		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		
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: _____						
Modèle n°: _____ Série n°: _____ Lecture au manomètre (lbs ou N): _____						
4. TENSION MINIMALE EXIGÉE (lbs) SELON LE TYPE DE BOULON ET SON DIAMÈTRE						
		3/4" Ø	3/4" Ø	1" Ø	1 1/4" Ø	1 1/2" 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 ☐	8 500 à 12 700 ☐
	Serrage final ²	19 000 ☐	28 000 ☐	39 000 ☐	51 000 ☐	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 ☐	12 200 à 18 350 ☐
	Serrage final ²	24 000 ☐	35 000 ☐	49 000 ☐	64 000 ☐	102 000 ☐
5. ANGLE DE ROTATION (R) DE L'ÉCROU AU SERRAGE FINAL						
Si L ≤ 4D R = 1/2 de tour ☐						
Si 4D < L ≤ 8D ou L ≤ 200 mm R = 1/2 de tour ☐						
Si L > 8D ou L > 200 mm R = 3/4 de tour ☐						
6. TENSION MESURÉE (lbs) – ESSAIS SUR 3 BOULONS ASSEMBLÉS (GALVANISÉS OU NON)						
	Serrage à bloc (lbs)	* Serrage final – 30° (lbs)³	* Serrage final (lbs)	* Serrage final + 30° (lbs)³		
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 (RG) SUR 4^e BOULON ASSEMBLÉ GALVANISÉ (A 325 seulement)						
Si L ≤ 4D RG = 240° ☐ Conforme ☐ Non-conforme ☐						
Si 4D < L ≤ 8D RG = 360° ☐ Conforme ☐ Non-conforme ☐						
Si L > 8D RG = 420° ☐ Conforme ☐ Non-conforme ☐						
Note : Effectuer le serrage à bloc (10 % de la valeur du serrage final indiquée au bloc 4) puis la rotation RG selon les boulons utilisés. La rotation à l'essai de capacité de rotation se fait sans arrêt-départ, avec une clé électrique.						
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: _____		Signature: _____		Date: _____		
Nom en lettres moulées				AAAA / MM / JJ		

Référence : CCDG (article 15.7.6.1), 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 R = Serrage final ± 30 % (CAN/CSA-S6 art. 10.24.6.6). Doit respecter la tension de serrage final minimale

Légende :
D = Diamètre du boulon
L = Longueur du boulon (sans la tête)
R = Rotation à partir du serrage à bloc (tous les boulons)
RG = Rotation à partir du serrage à bloc (boulons galvanisés seulement)
NR = Nombre de rondelles (par boulon assemblé)

Figure 7.6-1 Formulaire de vérification des boulons

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.

Le serrage à bloc, qui correspond à environ $15 \% \pm 3 \%$ de la tension minimale exigée, est obtenu en utilisant une clé électrique ajustable. Cette exigence du devis spécial est nouvelle et, par conséquent, la méthode manuelle consistant à utiliser une clé à mâchoire ou dynamométrique, ou encore l'utilisation d'une clé pneumatique est interdite puisque la clé électrique permet d'obtenir un serrage beaucoup plus uniforme.

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 :

- le boulon est serré à bloc au moyen d'une clé électrique selon la méthode prévue à la procédure de boulonnage. Si la tension induite n'est pas égale à $15 \% \pm 3 \%$ de la tension minimale exigée, l'entrepreneur doit ajuster autrement sa clé électrique et recommencer le serrage à bloc;
- le marquage du boulon et de l'écrou est effectué;
- le boulon est ensuite serré au serrage final moins 30° , au serrage final et finalement au serrage final plus 30° (selon la méthode de rotation de l'écrou. Pour respecter la tension minimale exigée au serrage final, la tolérance en moins doit dans certains cas être restreinte, comme cela arrive assez fréquemment dans le cas d'une rotation d'écrou correspondant à $1/3$ de tour; voir l'exemple n° 1 un peu plus loin. L'exemple n° 2 représente le cas d'un boulon où il n'y a pas ce genre de restriction;
- l'état du boulon et de l'écrou est vérifié visuellement une fois ceux-ci retirés du tensiomètre. Le boulon ne doit pas être déformé et les filets du boulon et de l'écrou ne doivent avoir aucune trace de bris. Une bonne façon de s'assurer que les pièces n'ont pas été endommagées consiste, après avoir retiré le boulon assemblé du

tensiomètre, à essayer de remettre manuellement en place l'écrou sur le boulon. Mentionnons que pour les boulons galvanisés, le serrage manuel peut être un peu plus difficile à cause du revêtement de zinc.

Exemple n° 1

Boulon de type A 325 :

- diamètre : 7/8 pouce
- longueur : 2³/₄ pouces
- angle de rotation lors du serrage final : 1/3 de tour (voir figure 7.6-1)
- tension minimale exigée : 39 000 livres (voir figure 7.6-1);

Résultats au tensiomètre

- serrage final moins 30° : 30 000 livres
- 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°. Dans ce cas, il a été décidé de ne permettre aucune tolérance en moins; on aurait pu aussi restreindre la tolérance en moins à une valeur inférieure à 30° telle que déterminée au tensiomètre. Pour éviter toute confusion possible, il est important de mentionner que l'entrepreneur devrait utiliser que ce lot de production de boulons assemblés, pour un joint donné, sinon il est très difficile pour tous les intervenants de gérer efficacement la rotation exigée de chacun des boulons.

Exemple n° 2

Boulon de type A 325 :

- diamètre : 3/4 pouce
- longueur : 3 1/4 pouces
- angle de rotation lors du serrage final : 1/2 de tour (voir figure 7.6-1)
- tension minimale exigée : 28 000 livres (voir figure 7.6-1);

Résultats au tensiomètre

- serrage final moins 30° : 30 000 livres
- serrage final : 37 000 livres
- serrage final plus 30° : 41 000 livres;

Rotation exigée

- le serrage final peut donc s'effectuer entre 1/2 tour moins 30° et 1/2 tour plus 30°. On doit cependant effectuer le serrage de manière à atteindre 1/2 tour (ou tout près de 1/2 tour) pour l'ensemble des boulons du joint, puisque le concepteur a pris pour acquis que la moyenne des rotations des boulons est d'au moins 1/2 tour lors de la conception de l'assemblage. Mentionnons qu'il peut arriver à l'occasion qu'un boulon s'écarte un peu (en moins ou en plus) de cette valeur sans que cela n'ait d'impact significatif sur la capacité de l'assemblage.

Dans le cas des boulons galvanisés, il faut faire un essai de rotation au tensiomètre sur un quatrième boulon assemblé (boulon, écrou et rondelle) provenant du même lot de production de boulons assemblés. Cet essai additionnel, qui a pour but de valider l'efficacité de la lubrification des pièces, est rendu nécessaire à cause de la friction occasionnée par la présence du zinc sur les filets du boulon et de la tolérance permise dans l'usinage des filets de l'écrou à la suite de la galvanisation. Après avoir placé le boulon assemblé à vérifier dans le tensiomètre, il faut procéder comme suit :

- le boulon est serré à bloc au moyen d'une clé électrique selon la méthode prévue à la procédure de boulonnage. Si la tension induite n'est pas égale à 10 % de la tension minimale exigée, l'entrepreneur doit ajuster autrement sa clé électrique et recommencer le serrage à bloc;
- le marquage du boulon et de l'écrou est effectué;
- le boulon est ensuite serré au moyen d'une clé électrique sans arrêt-départ (ce qui exclut l'utilisation de tout autre moyen sinon il peut arriver qu'une rupture du boulon se produise alors que cela n'aurait peut-être pas été le cas si une clé électrique est utilisée) en effectuant une rotation entre l'écrou et le boulon d'un angle égal à :
 - 240° pour un boulon ayant une longueur plus petite ou égale à 4 fois son diamètre;
 - 360° pour un boulon ayant une longueur supérieure à 4 fois son diamètre et plus petite ou égale à 8 fois son diamètre;
 - 420° pour un boulon ayant une longueur supérieure à 8 fois son diamètre.

Suite aux essais cités précédemment, le lot de production de boulons assemblés est jugé non conforme dans les cas suivants :

- la tension mesurée après le serrage final (c'est-à-dire à $\frac{1}{3}$, à $\frac{1}{2}$ ou à $\frac{2}{3}$ de tour selon le cas) d'un des 3 boulons assemblés n'est pas au moins égale à la tension minimale exigée;
 - le boulon ou les filets des pièces d'un des 3 boulons assemblés sont endommagés;
- Les 2 cas précédents ne s'appliquent pas au 4^e boulon assemblé galvanisé qui a servi pour faire l'essai de rotation.
- et pour le 4^e boulon assemblé qui a servi pour faire l'essai de rotation pour un lot de production de boulons assemblés galvanisés :
 - s'il n'est pas possible d'effectuer la rotation spécifiée;
 - s'il n'est pas possible d'enlever l'écrou après l'essai;
 - s'il y a cisaillement des filets du boulon ou de l'écrou. Une bonne façon de s'assurer que les pièces n'ont pas été endommagées consiste, après avoir retiré le boulon assemblé du tensiomètre, à remettre manuellement en place l'écrou sur le boulon

- s'il y a cisaillement du boulon.

Le surveillant devrait alors faire retirer immédiatement du chantier tous les contenants de boulons assemblés du lot de production non conforme afin d'éviter toute utilisation accidentelle de ces boulons.

Rappelons que les boulons utilisés doivent provenir d'un lot de production de boulons assemblés jugé conforme à la suite de la vérification de la capacité minimale 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 pour que son ingénieur, qui aura à signer un avis confirmant que les boulons ont été posés selon les exigences, puisse y joindre le formulaire pertinent concernant la vérification de la tension minimale d'un lot de boulons assemblés. Afin de faciliter les choses, le surveillant devrait demander à l'entrepreneur, avant de commencer la pose des boulons, la répartition qu'il se propose de faire.

Il est fortement recommandé de refaire la vérification de la tension minimale des boulons assemblés dès que leur entreposage fait qu'ils 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 conduire facilement à la mise en place de boulons qui n'auront pas la tension minimale exigée.

Alignement des poutres principales

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).

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. De plus, la poutre doit demeurer sur ses appuis temporaires jusqu'à ce que tous les boulons soient serrés final pour éviter tout désalignement de la poutre (à la suite de l'enlèvement d'un banc temporaire ou lors du transport de la poutre assemblée vers ses appuis permanents).

Il s'agit ensuite d'aligner les trous au moyen de chevilles d'assemblage et à maintenir les pièces assemblées par un nombre suffisant de boulons de préassemblage. Mentionnons tout de suite que l'enlèvement de ces 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 »).

Ces 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 dépasse 20 % des trous d'un même assemblage (possiblement en raison d'un mauvais alignement des sections de poutres, ou plus rarement, à cause d'une déficience géométrique de l'assemblage), ou si des méthodes contraires aux règles de l'art sont requises pour la mise en place de certains boulons, le surveillant se doit d'arrêter temporairement les travaux et de consulter le concepteur.

Selon les indications du concepteur, le surveillant doit alors, au besoin, demander à l'entrepreneur de lui présenter une proposition 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 devis spécial), sauf lors du remplacement de rivets par des boulons sur une structure existante.

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.

L'alignement de la poutre doit se faire en conservant les chevilles installées au point précédent et en ajoutant suffisamment de boulons permanents pour qu'il y ait au moins 50 % des trous remplis par les chevilles et les boulons pour chaque joint. Ces boulons permanents sont serrés à bloc au fur et à mesure que l'alignement de la poutre progresse vers l'alignement spécifié aux plans.

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.

Le serrage à bloc des boulons est réalisé selon les indications du point suivant.

Serrage à bloc des boulons

Le serrage à bloc des boulons permanents doit se faire selon la procédure de boulonnage qui a été validée lors de la vérification de la tension minimale des boulons, notamment au niveau des équipements à utiliser et de la façon de les utiliser.

Le serrage à bloc permet de s'assurer que toutes les pièces à assembler sont bien en contact les unes avec les autres.

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. Il est alors recommandé de vérifier le serrage à bloc des premiers boulons à avoir été serrés.

Le serrage à bloc ne doit pas être excessif afin d'éviter une déformation plastique des filets lors du serrage final. Un serrage excessif est facile à vérifier; il s'agit tout simplement d'essayer de desserrer en déployant une force normale, le boulon avec une clé à mâchoires d'au plus 400 mm de longueur et si l'ouvrier n'y parvient pas, alors le serrage à bloc est excessif.

L'entrepreneur doit d'abord transmettre un avis écrit d'au moins 24 heures au surveillant précisant la date et l'heure de la vérification du serrage à bloc d'un ou de plusieurs joints de chantier. La nécessité de cet avis s'explique par le fait que le surveillant doit être présent lors de la vérification. La vérification se fait même si un certain nombre de trous sont remplis par des chevilles d'assemblage puisque, rappelons-le, ces chevilles ne sont enlevées qu'après le serrage final des boulons remplissant les autres trous. La vérification consiste à vérifier 10 % des boulons d'un joint (6 boulons minimum) et elle doit être faite par l'ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage. Cette dernière exigence est importante car celui-ci a conçu la procédure de boulonnage et il est donc le plus apte à détecter toute anomalie éventuelle.

Le serrage à bloc d'un joint de chantier d'une poutre principale est considéré conforme si le serrage de tous les boulons testés l'est. En conséquence, il suffit qu'un seul boulon testé ait un serrage à bloc non conforme pour que le serrage à bloc du joint soit rejeté. Dans ce cas, l'entrepreneur doit remplacer tous les boulons par des nouveaux, car il est possible que certains boulons aient été serrés de façon excessive. Une bonne façon de s'assurer que ces boulons ne sont pas utilisés à nouveau par inadvertance consiste à les peindre avant leur enlèvement. Mentionnons qu'il devrait être très rare qu'un seul boulon testé soit jugé non conforme; en effet, les boulons testés sont soit tous conformes, soit tous non conformes, puisque la méthode utilisée pour le serrage est toujours la même. Si jamais cela arrivait, il y a fort à parier qu'un ouvrier ignorait, ou a oublié, la méthode de serrage à utiliser pour un joint donné.

Marquage des boulons

Une fois le serrage à bloc jugé conforme et avant de procéder au serrage final, il est important de noter que le marquage de l'écrou et du boulon doit être effectué par l'entrepreneur afin de pouvoir vérifier la rotation relative entre ces deux pièces. Ce marquage devrait se faire à la position midi afin de faciliter la vérification du serrage final; la marque à l'extrémité du boulon est située sur le demi-diamètre du boulon comme cela est montré à la figure 7.6-2.

Pour un joint de chantier d'une poutre principale, le marquage est effectué par l'ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage; une fois ce marquage terminé et après sa vérification par le surveillant, ce dernier autorise par écrit l'entrepreneur à procéder au serrage final des boulons.

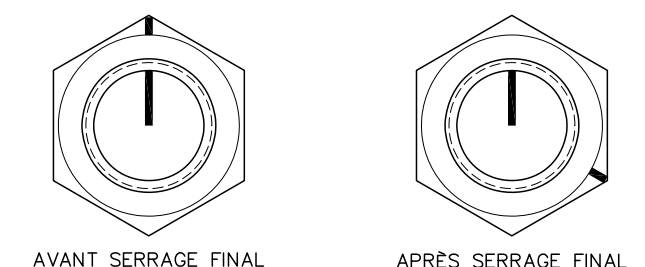


Figure 7.6-2 Exemple de marquage du boulon et de l'écrou pour un serrage final à 1/3 de tour

Serrage final des boulons

Le serrage final des boulons d'un joint de chantier d'une poutre principale peut commencer lorsque le surveillant transmet à l'entrepreneur l'autorisation de procéder suite à son inspection du marquage des boulons. Pour les autres assemblages, le serrage final peut débuter lorsque le serrage à bloc et le marquage des tous les boulons d'un assemblage sont complétés.

Comme cela a été mentionné auparavant, le serrage final est effectué selon la méthode de rotation de l'écrou. Cette méthode consiste à vérifier le degré de rotation relative de l'écrou par rapport au 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 7.6-1. À titre d'information, si la longueur du boulon est égale ou inférieure à 4 fois son diamètre, l'écrou ou le boulon est tourné d'un tiers de tour; par contre, si la longueur du boulon est supérieure à 4 fois le diamètre, l'écrou ou le boulon doit être tourné d'un demi-tour.

Une fois réalisée, cette rotation doit permettre d'obtenir une tension équivalant à au moins 70 % de la résistance à la traction minimale (F_u) des boulons.

La tolérance de rotation admissible est de 30° ou 1/12 de tour en plus ou en moins. Si la tolérance en moins a été réduite lors de la vérification de la tension minimale des boulons, il faut en tenir compte ici.

Il est recommandé que le boulon ou l'écrou qui n'est pas tourné soit fermement retenu au moyen d'une clef lorsque le serrage final est effectué. Cela permet de conserver la position midi sur la pièce non tournée de manière à faciliter l'inspection visuelle. Si cela n'est pas possible, le marquage entre le boulon et l'écrou permet quand même de déterminer la rotation relative entre les deux pièces.

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 excéder l'écrou d'au moins 3 mm. Par contre, il faut s'assurer que cette longueur excédentaire n'est pas trop longue, ce qui pourrait entraîner que la partie non filetée du boulon excède l'épaisseur des pièces à assembler; pour être sûr d'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.

Une fois les boulons permanents déjà en place serrés au serrage final, y compris ceux remplaçant les boulons temporaires si ces derniers ont été utilisés, l'entrepreneur doit ensuite remplacer les chevilles d'assemblage par d'autres boulons permanents en suivant chacune des étapes décrites précédemment (serrage à bloc, marquage et serrage final).

Une fois le serrage final terminé pour un joint de chantier d'une poutre principale et compte tenu de l'importance d'avoir un serrage final adéquat pour ces joints, il est exigé au devis spécial que l'ingénieur, qui a signé la procédure de boulonnage, vérifie le degré de rotation de l'écrou par rapport à chaque boulon. Le fait que l'ingénieur lui-même fasse cette inspection est important, car celui-ci connaît très bien le projet et il est le plus apte à détecter toute anomalie éventuelle. Cette vérification doit être faite en présence du surveillant.

Avis de l'entrepreneur

Compte tenu des problèmes de conformité rencontrés par le passé et 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 doit aussi mentionner les assemblages visés par l'avis.

Pour les assemblages autres que ceux des poutres principales, l'entrepreneur doit fournir un avis identique signé par l'ingénieur qui a inspecté les assemblages. Cet avis est toutefois remis qu'une seule fois, à la toute fin de l'ensemble des travaux de boulonnage, puisque ces assemblages sont moins critiques.

7.7 MODIFICATION OU RÉPARATION

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 A 325, on s'assure que le nouvel assemblage a une capacité égale ou plus élevée que celui qu'il remplace.

Il est important de mentionner qu'on doit porter une attention particulière à l'enlèvement des rivets au moyen d'une cisaille mécanique afin de ne pas endommager les surfaces d'acier les environnant.

Puisqu'un rivet était inséré à chaud dans un trou dont le diamètre était supérieur au sien, 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.

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'une cisaille mécanique. Il faut dans ce cas utiliser un chalumeau du côté de la tête martelée et pousser sur l'autre partie du rivet, puisque cette dernière est plus facile à pousser hors du trou parce qu'elle n'a pas été martelée lors de la pose. 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.

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, car l'ajout de boulons supplémentaires peut être nécessaire.

Dans le cas du remplacement de membrures existantes, une bonne pratique consiste à percer les nouvelles pièces au chantier en se servant des pièces enlevées comme gabarit.

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 – Chantier 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



1. Protection des pièces métalliques lors du transport



2. Ouvrage temporaire servant à la manipulation des poutres



3. Entreposage des matériaux au chantier



4. Ouvrage temporaire pour la mise en place des poutres par lancement



5. Banc temporaire servant de support pour la mise en place des poutres



6. Perçage à la mèche avec gabarit (perceuse magnétique)

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 Direction du laboratoire des chaussées
 - 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 Direction du laboratoire des chaussées (audits)
- ❖ Les principaux documents de base à consulter en cas de problèmes au chantier
 - Norme CAN/CSA-S6
 - Norme CSA-W59
 - Manuel de surveillance pour la fabrication en usine de la charpente métallique (Direction du laboratoire des chaussées)

DOCUMENTS REQUIS

Plans d'atelier

- ❖ À fournir 2 semaines avant la réunion préalable
- ❖ Procédures de soudage et feuilles de données : requis pour l'approbation des plans d'atelier
- ❖ Plans 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 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 »
- ❖ Ouvrage en acier existant : dimensions des éléments indiqués dans les plans doivent être vérifiées sur les lieux par l'entrepreneur

Plans de montage, dessins et calculs du procédé de montage

- ❖ À fournir 2 semaines avant le début du montage au chantier
- ❖ Documents signés et scellés par un ingénieur. Plans de montage à viser par le concepteur
- ❖ Plans de montage : montre l'assemblage des différentes pièces permanentes au chantier (dimensions, marquage, exigences de soudage au chantier, boulons)
- ❖ Dessins 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

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

- ❖ Ouvrages temporaires pour la manipulation des poutres : soudage interdit sur poutres

Documents relatifs au boulonnage

- ❖ À fournir 2 semaines avant le début du montage au chantier
- ❖ Documents signés et scellés par un ingénieur
- ❖ 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 dans pieux et fixation des appareils d'appui) : l'entrepreneur doit fournir :
 - Certification de l'entreprise de soudage (certificat et lettre de validation annuelle)
 - Liste des soudeurs (et cartes de compétences)
 - 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 (et certificat de qualification ainsi que lettre de validation annuelle)
- ❖ Procédure de soudage
 - 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

EXIGENCES DE CONCEPTION

- ❖ S'adressent essentiellement au concepteur
- ❖ 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 n° 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

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

- ❖ Norme 6201 du Ministère
- ❖ Identification des boulons à haute résistance, écrous et rondelles : voir figure 7.3-1
- ❖ Boulons utilisés : selon les plans d'atelier et les plans de montage
 - A 307 : éléments secondaires des glissières en acier
 - A 325 type 1 : acier noir (ou galvanisé lorsque les pièces à assembler sont galvanisées ou métallisées)
 - A 490 type 1 : acier noir
 - A 325 ou A 490 type 3 : lorsque l'ouvrage est fabriqué avec acier résistant à la corrosion
- ❖ Écrous des boulons A 325 et A 490 : selon normes ASTM A 563 (symbole DH) ou ASTM A 194 (symbole 2H)
 - Écrous galvanisés lorsque les boulons sont galvanisés (lubrifiant coloré obligatoire)
- ❖ Rondelles en acier trempé : selon norme ASTM F 436
- ❖ Tiges d'ancrage
 - A 307 grade C : garde-fous en acier
 - A 434 ou A 449 : glissières en acier
 - A 307 grade C, A 434 ou A 449 : appareils d'appui (selon les plans)

Goujons

- ❖ Norme CAN/CSA-S6
- ❖ Acier n'ayant pas de résistance à la corrosion atmosphérique

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

Voir chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transports* (version 2003)

Acier de construction

- ❖ Certification de l'entreprise (soudage)
 - Divisions 1 ou 2 (division 3 suffisante les drains, les drains d'interface ainsi que les glissières et garde-fous). 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 Direction du laboratoire des chaussées 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 (souvent sur couvercles des contenants : prendre des photos)
- ❖ Contrôle de réception des boulons (3 boulons assemblés « boulon, écrou et rondelle » pour chaque lot de production de boulons assemblés pour essais au tensiomètre)

Goujons

- ❖ Attestation de conformité à obtenir
- ❖ Fabricant doit être choisi parmi ceux de la liste des bases de goujons du Bureau canadien de soudage

RÉUNION PRÉALABLE À LA FABRICATION

- ❖ 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)

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

- ❖ Inviter notamment le concepteur et le représentant de la Direction du laboratoire des chaussées
- ❖ Ordre du jour : remise des documents requis, échéancier de fabrication et responsabilités des intervenants

DÉCOUPAGE

Au chantier

- ❖ Découpage au chalumeau interdit (utiliser plutôt la scie) sauf pour les joints soudés des pieux (si permis dans la procédure de soudage) et l'arasement des pieux
- ❖ Enlever les bavures et déformations du bord des plaques
- ❖ Arrondir les arêtes vives (rayon 1,5 mm) pour surfaces à peindre ou à métalliser

PERÇAGE

Au chantier

- ❖ Perçage interdit de trous non spécifiés dans les plans
- ❖ Utiliser des gabarits et percer au moyen d'une mèche (chalumeau interdit)
- ❖ 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 des pieux 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 (électrodes HC)
- ❖ 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 manuel
- ❖ Préparation du métal de base : voir les procédures de soudage et les feuilles de données
 - préchauffage et le postchauffage : chalumeau au propane
 - Température ambiante < - 18 °C : soudage interdit
 - Température < 0 °C : préchauffé les pièces à > 10 °C (faire un abri au besoin)
 - 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)
 - o Se fait progressivement au moyen d'un tuyau de 1 m de longueur
 - o Refaire essai si goujon réparé ou remplacé
 - o Consulter le concepteur ou la Direction du laboratoire des chaussées si fissures dans goujons, soudures ou métal de base
 - Goujon à enlever : consulter le concepteur ou la Direction du laboratoire des chaussées pour mesures à prendre

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

- ❖ Soudures sur des pièces galvanisées
 - Interdit sauf si zinc est enlevé
 - Ajouter protection anticorrosion sur soudures et surfaces adjacentes (article 15.14.2.2.4 du CCDG)

Contrôle des soudures (au chantier)

- ❖ Avant et pendant le 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
 - Dimensions des soudures et défauts de surface (à corriger au besoin selon les procédures pour les réparations par soudage)
 - L'inspecteur en soudage doit remettre rapport avant l'inspection finale du soudage par le surveillant
- ❖ Contrôle par examens non destructifs (examen visuel et essais)
 - Fait par un laboratoire enregistré
 - Joints soudés des pieux : examen visuel et ultrasons (25 % des joints sur 100 % de leur longueur)
 - Fixation des appareils d'appui : examen visuel
 - Modification ou réparation d'un ouvrage : examen visuel et examen magnétoscopique (soudures d'angle)
 - Fait en présence du surveillant (avis de 12 heures)
 - Examen visuel des soudures (100 % des soudures)
 - Fait par l'inspecteur en soudage (avant, pendant et après le soudage)
 - Avis verbal sur-le-champ et rapport à remettre dans 7 jours après les examens
- ❖ Surveillant peut demander assistance technique (Direction du laboratoire des chaussées)

PRÉMONTAGE EN USINE (poutres principales avec joints de chantier)

- ❖ Essentiel pour faciliter le montage au chantier. Vérifier si cela a été fait
- ❖ Plan de prémontage (lorsque requis) à fournir 14 jours avant le prémontage; à faire approuver par le concepteur

MANUTENTION, TRANSPORT ET MONTAGE

- ❖ Poutres soulevées par au moins 2 points de levage

Blocs d'assise et appareils d'appui

- ❖ Avant la mise en place des poutres : vérifier l'élévation des blocs d'assise
- ❖ 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

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)

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

Montage

- Vérifier la conformité du montage aux plans de montage et aux dessins 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 trous requis pour l'assemblage des contreventements ou diaphragmes entre les phases sont percés au chantier

JOINTS BOULONNÉS

Préparation des surfaces

- ❖ Pour les surfaces d'acier non galvanisé : acier nu (SSPC-SP 6/NACE n° 3 ou SSPC-SP 15)
 - Généralement fait en usine
- ❖ Pour les surfaces d'acier galvanisé : nettoyage manuel à la brosse métallique (enlever apparence lustrée sans endommager le zinc)
 - Généralement fait en usine

Peinturage des boulons

- ❖ Peinturage à faire après le serrage final (dégraissage préalable)

Livraison et entreposage des boulons

- ❖ Livraison des boulons assemblés : dans des contenants scellés à l'usine
- ❖ Entreposage
 - À l'abri des intempéries
 - Boulons inutilisés à la fin d'un quart de travail : doivent retourner dans leurs contenants d'origine

MISE EN PLACE DES BOULONS

Boulons permanents

- ❖ 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 A 490 (si F_y des pièces < 280 MPa) ou trous surdimensionnés: rondelles aux deux extrémités
 - Rondelles biseautées si pente 1:20 ou plus

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 « Documents requis » et manuel

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

Réunion préalable à la mise en place des boulons des joints de chantier

- ❖ 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 Direction du laboratoire des chaussées
- ❖ 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

- ❖ À faire par l'entrepreneur (en présence du surveillant) avant le boulonnage
- ❖ À faire quelque soit le nombre de boulons à mettre en place
- ❖ À refaire au besoin lorsque l'entreposage des boulons l'exige (mauvais entreposage)
- ❖ À faire au moyen d'un tensiomètre sur 3 boulons assemblés par lot de production de boulons assemblés
- ❖ Serrage à faire comme suit : serrage à bloc au moyen d'une clé électrique ajustable, marquage des pièces, serrage final moins 30°, serrage final et serrage final plus 30° (degré de rotation de l'écrou selon la longueur des boulons : voir figure 7.6-1)
 - Serrage à bloc : fait selon procédure de boulonnage (si 15 % $\pm$ 3 % de la tension minimale non respectée, ajuster la clé électrique).
- ❖ Boulons galvanisés
 - Faire l'essai sur un 4^e boulon comme suit :
 - Serrage à faire comme suit : serrage à bloc au moyen d'une clé électrique ajustable, marquage des pièces, serrage au moyen d'une clé électrique ajustable (sans arrêt-départ) selon le degré de rotation spécifié à la figure 7.6-1
 - o Serrage à bloc : fait selon procédure de boulonnage (si 10 % de la tension minimale non respectée, ajuster la clé électrique)
- ❖ Remplir le formulaire F312.1 « Contrôle de réception des boulons » (voir figure 7.6-1). Se procurer le formulaire sur le site intranet de la Direction des structures
- ❖ Le lot de production de boulons assemblés est jugé non conforme si :
 - La tension mesurée au serrage final ($\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ ou $\frac{2}{3}$ de tour) d'un des 3 boulons testés est inférieure à la tension minimale exigée (voir les 2 exemples au manuel)
 - Le boulon ou les filets des pièces d'un des 3 boulons testés sont endommagés (c'est le cas s'il n'est pas possible de remettre manuellement en place l'écrou sur le boulon)
 - De plus, pour les boulons galvanisés :
 - S'il n'est pas possible d'effectuer la rotation désirée
 - S'il n'est pas possible d'enlever l'écrou après l'essai
 - S'il y a cisaillement des filets du boulon ou de l'écrou
 - S'il y a cisaillement du boulon
 - 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 (important pour avis de conformité du boulonnage)

Alignement des poutres principales

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

- ❖ 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. : 20 % des trous de l'assemblage et alésage interdit) et de boulons de préassemblage
 - Chevilles d'assemblage : à enlever à la toute fin après le serrage final des autres boulons permanents
 - Boulons de préassemblage
 - Permanents ou temporaires (si temporaires : peints 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)
 - En remplissant au moins 50 % des trous des joints de chantier avec des chevilles et des boulons permanents
 - 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)
 - Remplacer les chevilles par des boulons et procéder à leur serrage
 - S'assurer que les trous des ouvrages temporaires servant au levage des poutres sont comblés par des boulons A 325 (peints si poutres peintes; sinon, galvanisés)

Serrage à bloc des boulons

- ❖ À faire selon la procédure de boulonnage (clé électrique ajustable)
- ❖ Une fois terminé
 - Vérifier que les pièces à assembler sont en contact
 - Grands assemblages : resserrer si requis les premiers boulons serrés
 - Joints de chantier des poutres principales
 - Entrepreneur envoie un avis au surveillant (24 heures avant la vérification du serrage à bloc)
 - Vérification par l'entrepreneur du serrage à bloc (10 % des boulons ou au moins 6 boulons par joint)
 - o En présence du surveillant et de l'ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage
 - o Serrage à bloc d'un joint jugé non conforme si un seul des boulons testés du joint ne peut pas être desserré avec une clé à mâchoires d'au plus 400 mm
 - o Si serrage à bloc d'un joint jugé non conforme, remplacer tous les boulons du joint

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 à la position midi (demi-diamètre du boulon et écrou attenant)
- ❖ Joint de chantier d'une poutre principale
 - À faire après l'acceptation du serrage à bloc par le surveillant
 - À faire par l'ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage

Serrage final des boulons

- ❖ À faire après le serrage à bloc et le marquage de tous les boulons d'un assemblage terminé
- ❖ Joints de chantier d'une poutre principale
 - À faire qu'après l'autorisation écrite du surveillant (serrage à bloc et marquage jugés conformes)
- ❖ Seule méthode de serrage autorisée : **par rotation de l'écrou**
- ❖ Retenir le boulon ou l'écrou non tourné
- ❖ Commencer par la partie la plus rigide de l'assemblage vers les bords libres
- ❖ Une fois terminé
 - Remplacer les boulons temporaires peints en rouge par des boulons permanents serrés final

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

- Remplacer ensuite les chevilles d'assemblage par des boulons permanents serrés final
- Tolérance de rotation admissible : 30° en plus ou en moins
 - La tolérance en moins peut être interdite ou restreinte (suite à la vérification de la tension minimale d'un lot de boulons assemblés)
 - La moyenne du degré de rotation relative « écrou-boulon » de l'ensemble des boulons d'un assemblage doit être celle spécifiée au serrage final (il peut arriver à l'occasion qu'un boulon s'écarte un peu (en plus ou en moins) de cette valeur)
- S'assurer que les boulons ont la bonne longueur (voir les plans de montage)
 - S'assurer que l'extrémité filetée excède l'écrou d'au moins 3 mm
 - 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
- Joints de chantier des poutres principales
 - Vérification par l'entrepreneur du serrage final de tous les boulons de chaque joint
 - En présence du surveillant et de l'ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage
 - Serrage final d'un boulon jugé non conforme (degré de rotation relative « écrou-boulon » incorrecte)
 - o Si rotation insuffisante, poursuivre la rotation jusqu'à la valeur désirée
 - o Si rotation excessive : remplacer le boulon (tous les boulons desserrés après le serrage final sont rejetés)
- Revêtement des pièces assemblées altéré lors du serrage : retouches selon l'article 15.14.4.3.2 g) du CCDG

Avis de l'entrepreneur

- ❖ Joints de chantier des poutres principales
 - Une fois le serrage final des boulons d'un joint jugé conforme
 - Avis à remettre par entrepreneur 48 heures après vérification du serrage final (avis signé par ingénieur qui a signé la procédure de boulonnage)
- ❖ Autres assemblages (une fois tous les assemblages complétés)
 - Avis signé par ingénieur à remettre par entrepreneur après inspection par cet ingénieur

Modification ou réparation (en plus des exigences précédentes)

- ❖ Si assemblages pas décrits dans les plans : identiques à ceux existants
- ❖ Enlèvement des rivets
 - Cisaille mécanique (ou au chalumeau pour assemblage de 3 pièces ou plus)
 - 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 n° 3 ou SSPC-SP 15)

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

CHAPITRE 8

OUVRAGES EN BOIS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	8-1
8.1 DOCUMENTS REQUIS	8-1
8.2 MATÉRIAUX	8-2
8.3 ASSURANCE DE LA QUALITÉ	8-4
8.3.1 Bois	8-5
8.3.2 Géotextiles	8-6
8.3.3 Matériaux de remplissage d'un caisson	8-6
8.4 MISE EN ŒUVRE	8-7
TABLEAUX	
Tableau 8.2-1 Taux de rétention minimal pour le bois	8-3
Tableau 8.4-1 Marques d'estampillage pour la qualité du bois	8-7
PHOTOGRAPHIES	8-13
AIDE-MÉMOIRE	8-15

INTRODUCTION

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 et les ponts couverts. Mentionnons que 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
- 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 : Pierres d'enrochement et de revêtement de protection

8.1 DOCUMENTS REQUIS

L'entrepreneur doit fournir au surveillant le plan de montage d'un caisson (mur ou culée d'un pont acier-bois); ce plan doit contenir les renseignements suivants :

- la longueur des pièces de bois;
- l'emplacement des pièces de bois.

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. De plus, les exigences 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 doivent aussi être respectées.

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

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.

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.

Le produit de préservation surtout utilisé au Ministère est l'ACC (arséniate et chromate de cuivre; 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 l'ACQ (ammoniaque et cuivre quaternaire) est possible, mais peu probable.

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 milieux environnants; ce milieu est précisé dans le devis spécial. Ces valeurs proviennent de la norme CSA O80.

Produit de préservation	Taux de rétention minimal (kg/m ³)		Couleur
	Eau salée	Eau douce ou sol	
ACC	24,0	6,4	Vert-gris

Tableau 8.2-1 Taux de rétention minimal pour le bois

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° 1. Cette exigence du CCDG s'impose en raison de la forte sollicitation exercée sur les traverses par les véhicules passant sur le pont. Quant au bois requis pour les caissons à claire-voie d'un pont ou d'un mur, il doit être de qualité n° 1 avec un maximum de 50 % de qualité n° 2. Cette tolérance du CCDG quant au bois de qualité n° 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° 1 avec un maximum de 35 % de qualité n° 2.

Quincaillerie

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 accompagnant la boulonnerie. Mentionnons que des plaquettes carrées peuvent être utilisées en remplacement des rondelles. Bien qu'aucune protection anticorrosion ne soit généralement requise pour la quincaillerie, il peut arriver que certaines pièces fournies soient néanmoins galvanisées. Cette protection n'est toutefois pas nécessaire, puisque la durée de vie de ces pièces dépasse généralement celle du bois traité. La seule attache devant être galvanisée est celle utilisée pour fixer les lisses métalliques aux poteaux de glissière; cette exigence des plans est nécessaire pour permettre une compatibilité adéquate entre les matériaux.

Matériaux de remplissage d'un caisson

Les matériaux de remplissage à utiliser sont indiqués au CCDG; notamment celles à utiliser pour le remplissage des caissons (plus petite dimension : 230 mm et plus grande dimension : 400 mm). Ces pierres sont décrites dans la section 15.2 « Fondations » du CCDG.

8.3 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

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 laboratoire des chaussées.

Puisque les exigences du CCDG concernant la quincaillerie sont minimales, le surveillant n'a pas vraiment à vérifier la qualité de celle-ci.

8.3.1 Bois

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.

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.

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 des normes 11101 du Ministère et CSA O80.

Contrôle de réception

Afin d'établir un climat de confiance entre le Ministère et les fournisseurs de bois traité, la Direction du laboratoire des chaussées 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 du laboratoire des chaussées 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 laboratoire des chaussées 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.

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.

De même, pour les matériaux granulaires utilisés pour le remplissage d'un caisson, le surveillant doit obtenir de l'entrepreneur une attestation de conformité. 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.

Afin de s'assurer du respect des exigences du CCDG quant au pourcentage de bois ayant une qualité n° 2, il doit notamment vérifier la qualité du bois pour chaque livraison, en relevant le pourcentage de pièces de qualité n° 1 et de qualité n° 2 figurant sur l'étiquette du fournisseur, laquelle est apposée sur chacun des paquets de bois; en cas de doute, le surveillant 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 montre les marques d'estampillage pour les principales usines de traitement. Ces marques doivent se retrouver sur chacune des pièces de bois, généralement à l'un des bouts.

Fournisseur	Qualité n° 1	Qualité n° 2
Goodfellow		
Marwood		
Stella-Jones		

Tableau 8.4-1 Marques d'estampillage pour la qualité du bois

Excavations et remplissage des excavations

La conception d'un caisson d'une culée ou d'une pile d'un pont acier-bois, qui repose directement sur le sol, est généralement effectuée en se basant sur un avis technique relatif à la nature du sol en place. Cependant, une étude géotechnique est parfois réalisée lorsqu'il s'agit d'un cas particulier où le sol a une très faible capacité portante. Le fait de ne pas effectuer systématiquement des sondages en profondeur est acceptable pour des ponts acier-bois parce que ce type d'ouvrage peut tolérer un certain niveau de déformations dû au mouvement du sol sans que cela nuise à son comportement.

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.

Caisson

Un caisson est un assemblage de pièces de bois entrecroisées, fixées par des fiches, des tiges 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.

L'élévation du dessous du caisson doit être à une certaine profondeur plus bas que le 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 au devis spécial. Cette exigence vise à protéger l'unité de fondation contre l'érosion et à assurer ainsi sa stabilité à long terme.

À la demande du surveillant, un matériau granulaire peut être utilisé comme coussin de support. L'ajout de ce matériau améliore la capacité portante du sol et facilite souvent l'ajustement des premières pièces, particulièrement si l'entrepreneur a choisi de préassembler au chantier 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, 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 rétroexcavatrice, 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 230 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.

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.

Un remplissage de transition, avec un empierrement intermédiaire spécifié aux plans (calibre 100-200), est effectué afin d'avoir une surface plus uniforme pour la partie supérieure du caisson. Un géotextile doit être placé sur ce remplissage de transition pour éviter que la couche supérieure constituée de matériau granulaire MG 20 s'infilte 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.

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

Un platelage est constitué de traverses déposées transversalement sur les poutres ou les longerons et d'un plancher dont les madriers sont placés dans le sens du trafic. Les traverses servent à transférer les charges des véhicules au système structural alors que le platelage assure une surface de roulement confortable.

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.

L'espacement de 3 mm demandé entre les madriers du plancher est requis pour permettre un certain drainage du tablier. La valeur de 3 mm ne doit pas être dépassée 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.

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.

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 n'ont pas besoin d'être préalablement percées, puisque les tire-fonds n'entraînent pas leur détérioration. De plus, cette façon de faire permet une meilleure fixation des madriers.

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 du même produit de préservation que celui utilisé en usine 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 doivent être placées à chaque extrémité des attaches en contact avec le bois. Des dimensions minimales sont exigées dans le CCDG pour les rondelles ou 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

Bois

- ❖ Norme 11101 du Ministère
- ❖ Bois neuf seulement
- ❖ Bois traité seulement
 - Traitement de préservation : ACC (eau salée : 24 kg/m³ ; sol ou eau douce : 6,4 kg/m³)
 - Pièces coupées à leur longueur finale avant traitement de préservation à l'usine
- ❖ Pourcentage de n° 1 et n° 2 (platelage : 100 % n° 1; caisson à claire-voie : n° 1 et 50 % maximum n° 2, autres éléments : n° 1 et 35 % maximum n° 2)

Quincaillerie

- ❖ Boulons (A 307 grade A) et tiges (A 307 grade C) : selon la norme 6201 du Ministère
- ❖ Fiches : selon norme 6101 du Ministère
- ❖ Rondelles : > 4 X Ø du boulon (épaisseur : 4 mm)
- ❖ Galvanisation non obligatoire (sauf les attaches des lisses métalliques des glissières)

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

Chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003)

Bois

- ❖ Système qualité ISO du fournisseur
 - Certification ISO à fournir
- ❖ Attestation de conformité
 - Vérifier concordance entre attestation de conformité et exigences (essence de bois, traitement : 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, communiquer avec la Direction du laboratoire des chaussées

Autres matériaux

- 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 d'un pont

- ❖ Vérifier l'élévation du dessous du caisson
- ❖ Vérifier la géométrie du caisson tout au long de sa construction
- ❖ Boulons, tire-fonds et tiges : rondelles à chaque extrémité en contact avec le bois
- ❖ Ajustement de pièces pour rétablir l'horizontalité : à faire au-dessus du niveau des eaux hautes extrêmes
- ❖ Remplissage des caissons
 - Au fur à mesure de la construction du caisson
 - Pierres 230 mm minimum et 400 mm maximum
- ❖ Remplissage de la partie supérieure des caissons
 - Pierres calibre 100-200 sur 400 mm
 - Géotextile et MG 20 sur 600 mm, par couche de 300 mm compactée à 95 % Proctor modifié
- ❖ Poser géotextile sur face arrière du caisson (ne pas tendre le géotextile)
- ❖ Vérifier la distance entre deux unités de fondation (avant la construction du caisson suivant)

Platelage

- ❖ Chevauchement minimal des traverses (pont avec biais) : largeur de la semelle de la poutre + 50 mm
- ❖ Espacement entre traverses : 3 mm
- ❖ Plaques d'attache à poser
- ❖ Anneaux fendus à poser (vis-à-vis des poteaux des glissières)

Quincaillerie

- ❖ Trous pour quincaillerie
 - Pour boulons et tiges filetées : $\varnothing$ de l'attache + 2 mm
 - Pour tire-fonds, fiches ou clous : $\varnothing$ de l'attache - 2 mm
 - Pour tire-fonds sur platelage : ne pas percer 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)

CHAPITRE 9

ÉQUIPEMENTS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	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
9.1.7 Remplacement d'appareils d'appui	9-15
9.2 JOINTS DE TABLIER	9-16
9.2.1 Documents requis	9-18
9.2.2 Matériaux	9-20
9.2.3 Mise en œuvre	9-20
9.3 GLISSIÈRES ET GARDE-FOUS EN ACIER	9-32
9.3.1 Documents requis et exigences de conception	9-33
9.3.2 Matériaux	9-34
9.3.3 Fabrication	9-34
9.3.4 Mise en œuvre	9-34
9.4 DRAINS EN ACIER	9-39

FIGURES

Figure 9.1-1	Étapes de mise en place d'un appareil d'appui en élastomère fretté sous une poutre en acier – exemple	9-13
Figure 9.1-2	Étapes de mise en place d'un appareil d'appui à élastomère confiné – exemple	9-14
Figure 9.2-1	Joint de tablier à une garniture (vue partielle)	9-18
Figure 9.2-2	Tableau « Ouverture–Température » d'un joint de tablier – exemple	9-23
Figure 9.3-1	Positionnement des éléments d'une glissière en acier	9-39

PHOTOGRAPHIES	9-43

AIDE-MÉMOIRE	9-45

INTRODUCTION

On désigne par « équipements » l'ensemble des dispositifs 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 dispositifs 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 dispositifs 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 laboratoire des chaussées 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 Direction du laboratoire des chaussées 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 dispositifs 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 cimentaire

Mentionnons que les employés du Ministère ont accès en ligne aux normes émises par le Bureau de normalisation du Québec (BNQ). Rappelons que le lien vers le BNQ se trouve sur le site intranet de la Direction de la recherche et de l'environnement.

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 de gravité; ils permettent aussi la rotation du tablier. Le tablier est généralement fixé à au moins une des unités de fondation du pont.

Les appareils d'appui mobiles rendent possibles les mouvements de translation en plus de transmettre les charges de gravité. Ils peuvent être équipés de guides qui ne permettent le mouvement que dans une seule direction.

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 – Volume 1*. Les types d'appareils d'appui à employer sont inscrits dans les plans de soumission alors que leurs caractéristiques générales sont indiquées dans le 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.

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, dont le type de matériau de ses différents composants, leurs dimensions ainsi que leurs capacités de mouvement et de charge aux ÉLUT (États limites d'utilisation) et ÉLUL (États limites ultime), tel que cela est indiqué dans les plans de soumission, lesquels sont plus ou moins élaborés selon le type d'appareils d'appui;
- la note de calcul afin de déterminer les dimensions des appareils d'appui, et ce, en conformité avec les exigences de la norme CAN/CSA-S6 et celles des normes du Ministère;
- 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.

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.

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. Lorsqu'il y a des conduits de services publics, il faut vérifier que le levage peut se faire sans les endommager. 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.

La réaction maximale sur un appareil d'appui est spécifiée dans le devis spécial ou 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.

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.

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.

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.

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.

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 pot inversé. Mentionnons que les appareils d'appui à pot inversé ne sont demandés que pour les appareils guidés afin que les guides soient localisés au-dessus de la partie fixe de l'appareil, de manière à ce qu'ils n'empêchent pas le mouvement lorsque la poutre n'est pas parfaitement alignée.

Le surveillant peut tout de même demander au concepteur de viser un document qu'il devrait normalement lui-même viser s'il ne se sent pas à l'aise avec l'un ou l'autre des documents. Dans ce cas, le concepteur retourne au surveillant les documents qu'il a visés; de même, le surveillant transmet pour information une copie des documents qu'il a visés au concepteur. La fabrication des appareils d'appui ne peut pas débuter avant que ces documents n'aient été retournés à l'entrepreneur.

Le visa est un acte par lequel le Ministère reconnaît que les documents 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 déplacement demandées dans les plans et devis.

La figure 7.4-1 du chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » du présent manuel montre l'estampe type utilisée à titre de visa.

Le surveillant doit de plus s'assurer que la note de calcul est signée par un ingénieur.

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. En effet, outre les appareils d'appui de conception simple que sont les appareils en élastomère fretté, la conception des appareils d'appui est généralement complexe; par contre, le lien de confiance entre les fabricants et le Ministère est suffisamment élevé permettant à ce dernier de consacrer peu d'énergie à s'assurer que la conception est adéquate.

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 Direction du laboratoire des chaussées ou par l'un de ses mandataires 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 de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle se trouve sur le site internet du Ministère.

9.1.4 Assurance de la qualité

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

9.1.5 Fabrication

La fabrication des appareils d'appui est vérifiée en usine par le personnel du Laboratoire des chaussées, ou par l'un de ses mandataires, 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.

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 Direction du laboratoire des chaussées, puisque celui-ci porte principalement sur les méthodes de travail du fournisseur. En cas de doute, le surveillant doit consulter la Direction du laboratoire des chaussées, notamment en ce qui a trait aux soudures et à la protection anticorrosion.

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 2 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.

Pour s'assurer que les tiges d'ancrage soient bien localisées, il est exigé au devis spécial 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 2 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 au moyen de surfaces d'appui planes et horizontales.

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, celle-ci est reprise par une plaque biseautée en acier ou par une dépression en pente sous un élément 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 dimensions des appareils d'appui sont 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 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 est le même que celui employé pour l'unité de fondation; si ce n'est pas le cas, le surveillant doit en informer le concepteur.

Dans le cas d'un appareil d'appui en élastomère freiné, 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, sans toutefois présenter de trous, 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 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.

Étant donné que le coulis doit avoir une résistance à la compression d'au moins 20 MPa avant que les poutres soient mises en place, il faut s'assurer de construire suffisamment à l'avance les blocs d'assise afin de ne pas retarder les travaux. Il est parfois nécessaire de prélever des éprouvettes de coulis pour en vérifier la résistance.

Vérifications à faire avant la mise en place des poutres – appareils d'appui en élastomère fretté

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.

La température ambiante lors de la mise en place des poutres doit respecter les exigences du devis spécial, 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.

De plus, il faut 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 impossible de le faire une fois la poutre mise en place. Mentionnons que, dans le cas d'une poutre en acier, le cadre est soudé sous sa semelle inférieure.

Dans le cas de poutres en acier, les tiges d'ancrage doivent être centrées par rapport aux trous oblongs de la plaque d'appui d'un appareil d'appui en élastomère fretté sans éléments glissants ou de la partie supérieure des appareils d'appui avec éléments glissants lorsque la température, au moment de la mise en place des poutres, se situe entre - 10 °C et 20 °C. Si la température est différente, le surveillant doit communiquer avec le concepteur pour connaître la position des 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 des appareils avec éléments glissants, lesquels sont livrés en pièces détachées, il faut 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 veiller à ce que les appareils à élastomère confiné soient posés 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 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 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 place 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 devis spécial. Bien que les méthodes de mise en place du cordon de retenue et du coulis soient bien décrites dans le devis spécial, mentionnons que des précautions doivent être prises en ce qui concerne la température minimale des surfaces de contact (il faut installer une 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 ne faut pas non plus 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

Il faut veiller à ce que chaque appareil soit localisé tel que cela est indiqué dans les plans, sinon, le surveillant doit communiquer sans délai avec le concepteur.

Lorsque la plaque d'appui d'un appareil en élastomère fretté sans éléments glissants, ou les parties inférieure et supérieure d'un appareil d'appui à élastomère confiné, ou la plaque supérieure d'un appareil d'appui en élastomère fretté avec éléments glissants, doivent être soudées au chantier à une poutre, la soudure doit être réalisée dès que possible après la mise en place des poutres pour éviter tout déplacement relatif entre la partie supérieure de l'appareil et la poutre ainsi que pour assurer la meilleure stabilité possible du système structural. De plus, si l'acier de la plaque d'appui d'un appareil en élastomère fretté est de nuance 350A ou 350AT, ou que la plaque 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; il est recommandé de vérifier ce point en mesurant la température de la plaque supérieure de l'appareil d'appui lors du soudage au moyen d'un thermomètre à infrarouge, celle-ci ne devrait pas dépasser 150 °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 7 jours au surveillant.

Une fois la partie supérieure d'un appareil d'appui en élastomère fretté avec éléments glissants, ou la plaque d'appui d'un appareil d'appui en élastomère fretté 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 bloc l'un contre l'autre afin d'éviter leur desserrage éventuel. Les plans exigent le maintien d'une distance minimale entre l'appareil d'appui et le dessous du boulon inférieur afin de permettre le mouvement relatif entre ces deux pièces; s'il s'agit d'un appareil d'appui fixe à deux tiges d'ancrage, cette distance peut être nulle.

Dans le cas des appareils d'appui à élastomère confiné, le surveillant doit s'assurer que les plaques d'attache servant à maintenir les parties inférieure et supérieure des appareils sont enlevées dès la mise en place de chaque poutre. Dans le cas du bétonnage d'un tablier, ces attaches 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.

Dans le cas de poutres en acier reposant sur des appareils d'appui en élastomère fretté, il peut arriver dans certaines circonstances exceptionnelles que l'on exige au devis spécial le levage du tablier une fois le bétonnage de la dalle terminé. Cette exigence, qui est applicable même si la mise en place des poutres s'est faite entre -10°C et 20°C , est requise pour remettre certains appareils d'appui dans leur forme originale suite à une déformation longitudinale considérable causée par la rotation des poutres lors du bétonnage de la dalle.

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.

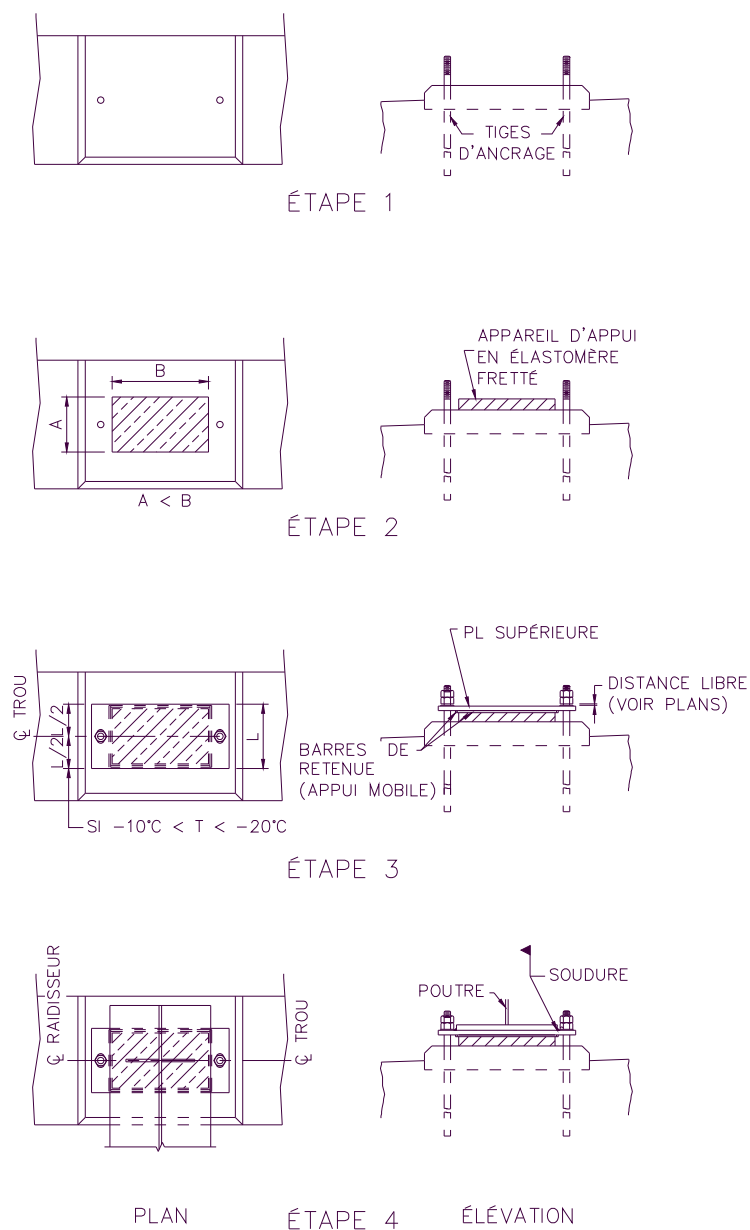


Figure 9.1-1 Étapes de mise en place d'un appareil d'appui en élastomère fretté sous une poutre en acier – exemple

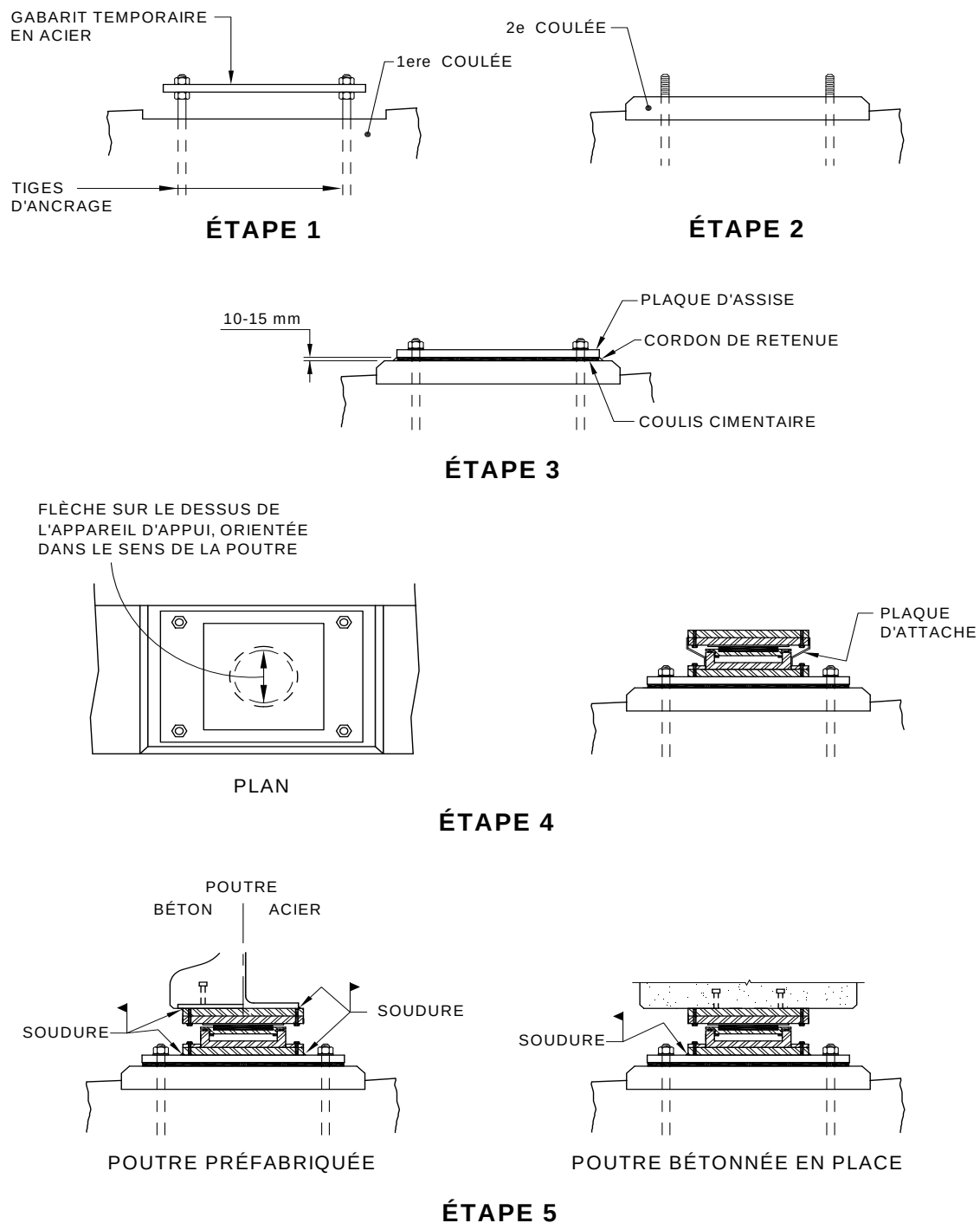


Figure 9.1-2 Étapes de mise en place d'un appareil d'appui à élastomère confiné – exemple

9.1.7 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.

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.

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 ancres 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'appui 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 des structures 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 de pont sensibles 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 plus de 25 ans. 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 souvent 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 à plus d'une garniture est utilisé, chaque garniture reprenant une portion à peu près égale du mouvement sans toutefois dépasser 80 mm. 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.

Mentionnons que depuis cette année, le Ministère n'utilise que le joint avec épaulements d'acier (auparavant appelé « de type HSS »). 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. De plus, le joint avec épaulements en acier est plus durable parce qu'il n'y a pas d'épaulements de béton; en effet, les épaulements de béton ont toujours été une source d'entretien importante. 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 – Volume 1*. La figure 9.2-1 montre un joint de tablier à une garniture avec dalot; la hauteur du dalot varie selon que le joint est posé sur un nouveau tablier ou non.

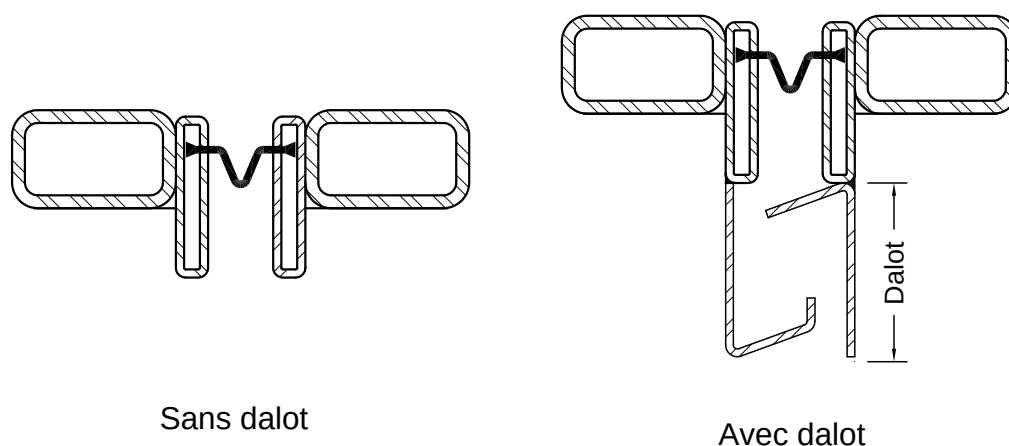


Figure 9.2-1 Joint de tablier à une garniture (vue partielle)

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 des joints de tablier doive être conforme à la norme CAN/CSA-S-6, 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 ces deux plans, 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 chasses-roues qui doit se faire à partir du dessus de l'épaule 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 ou ASTM A572 grade 50) de celle indiquée dans les plans de soumission pour les profilés d'enclenchement; 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; cette ouverture est normalement de 40 mm. 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 et un danger pour les usagers, si l'ouverture excède 120 mm, par temps froid.

Dans le cas d'un joint à plus d'une garniture, les plans d'atelier seront nécessairement différents des plans de soumission, car ces derniers n'ont pas été révisés depuis plusieurs années; les plans de soumission doivent donc être interprétés de concert avec les exigences du devis spécial.

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 bords 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.

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 de plans à fournir selon le format ISO A1.

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 documents 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, 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; le surveillant doit s'assurer que cette garniture convient pour l'ouverture maximale prévue. L'angle du biais est aussi à vérifier ainsi que l'angle des plaques d'ancrage par rapport aux profilés d'enclenchement. Mentionnons que 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.

La figure 7.4-1 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 Direction du laboratoire des chaussées ou par l'un de ses mandataires 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 Direction du laboratoire des chaussées 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 selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

Fabrication

La fabrication des joints de tablier est vérifiée en usine par le personnel du Laboratoire des chaussées, ou l'un de ses mandataires, 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 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;

- la remontée des profilés d'enclenchement aux extrémités du joint. Cette remontée doit se faire selon un angle d'environ 30°, sauf pour les joints à une garniture pour un côté de pont avec un trottoir, 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 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 devis spécial, 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 ou glissières sont fixées adéquatement.

Le surveillant doit également veiller à ce que les outils servant à poser la garniture en élastomère accompagnent les joints de tablier. Si ce n'est pas le cas, il doit s'informer auprès de l'entrepreneur des raisons pouvant justifier cette absence. Il peut arriver que l'entrepreneur ait déjà ces outils en main à la suite de la réalisation d'un contrat antérieur; il faut alors que le surveillant demande à voir les outils en question et, en cas de doute, qu'il s'informe auprès du fabricant quant à la pertinence de les utiliser ou non.

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 Direction du laboratoire des chaussées, puisque celui-ci porte principalement sur les méthodes de travail du fournisseur. En cas de doute, le surveillant doit consulter la Direction du laboratoire des chaussées 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.

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. 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, si l'ouverture excède 120 mm, 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 devis spécial est nécessaire pour que le mouvement total soit réparti également entre chaque garniture. 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.

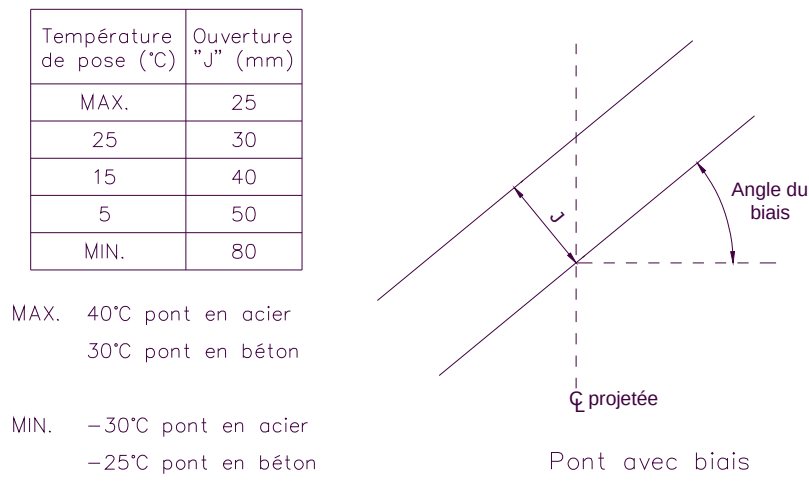


Figure 9.2-2 Tableau « Ouverture–Température » d'un joint de tablier – exemple

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 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 30°, 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 ou glissières.

Le positionnement adéquat du nouveau joint (pour remplacer un joint existant) est une opération très délicate à réaliser si l'on veut obtenir un joint sécuritaire et confortable pour les usagers parce que le profil longitudinal du dessus du platelage laisse souvent à désirer en raison de la méthode utilisée dans le passé pour bétonner les dalles. La principale déficience du profil longitudinal est constatée au droit des unités de fondation; en effet, le profil y est généralement trop bas à cause de la cambrure résiduelle des poutres qui n'a pas été considérée lors du bétonnage de la dalle. Mentionnons qu'un joint confortable a de plus 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 « Enrobé à chaud » du devis spécial doit en principe contenir 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; ce texte apparaît dans le devis pour autant que l'enrobé existant est enlevé sur toute la superficie de la structure. 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 dans le devis spécial.

Mentionnons tout de même que le surveillant ne dispose que de quelques 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 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 d'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.

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. Mentionnons que cette valeur de 65 mm sera changée à l'avenir pour 70 mm afin d'avoir une épaisseur d'enrobé de 65 mm; le surveillant doit donc vérifier les plans et devis pour s'assurer que l'entrepreneur utilise la bonne valeur pour son

projet. Il suffit alors de s'assurer que le dessus du joint touche en tout point la corde. 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;
- 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 de part et d'autre du joint. Il faut cependant s'assurer que la hauteur de l'épaulement ne soit pas inférieure à 40 mm sur toute la longueur du joint. Cette exigence des plans est nécessaire, car l'enrobé à chaud ne peut pas demeurer longtemps en place s'il est posé à une épaisseur inférieure à 40 mm.

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 et des trottoirs 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, 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.

Une fois le joint de tablier fixé, il faut enlever aussitôt les cornières et les plaques d'assemblage temporaires retenant les deux parties du joint et couper le haut des vis d'ajustement tel qu'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. 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. Dans le cas d'un joint de tablier sans dalot, il est possible d'insérer une pièce de bois, taillée à la dimension exacte de l'ouverture du joint, entre les profilés d'enclenchement.

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-routes, trottoirs 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, les joints d'assemblage sont, soient boulonnés (fournisseur : Goodco-Z-Tech), soit soudés (fournisseur : LCL Ponts). Dans les deux cas, il faut bien examiner les plans d'atelier pour s'assurer que les joints d'assemblage soient réalisés de façon adéquate. Mentionnons que pour les joints d'assemblage soudés, 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 doivent être réalisées sous la supervision immédiate d'un représentant du fabricant. De plus, ce représentant doit être aussi présent lors de la mise en place et du bétonnage du joint. Afin de réduire le temps de présence requis du représentant du fournisseur sur le chantier, il est exigé dans les notes des plans d'atelier de regrouper ces activités dans la même journée.

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; jamais un surveillant ne sera 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.

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. La vibration du béton doit être réalisée avec soin afin d'éliminer les vides à proximité des nombreuses interfaces « béton – acier » et sous les tubes HSS

Vérifications à faire après la cure du béton

Tel que 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 de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle se trouve sur le site internet du Ministère. Le coulis est mis en place à l'aide d'un 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 bloqué avant de passer au trou suivant. Une façon simple de boucher les trous est de déposer un poids sur le dessus des profilés.

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, il doit alors consulter le concepteur pour que ce dernier analyse les correctifs proposés par l'entrepreneur.

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 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 fournis 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 est normalement 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 ou d'un joint à plus d'une garniture lorsque cela est exigé dans le devis spécial; dans ces cas, la garniture est mise en place par le fournisseur du joint de tablier. Cette exigence du devis spécial s'impose compte tenu de la difficulté particulière associée à ces deux situations. Outre ces deux 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 chasses-roues, trottoirs ou glissières ainsi qu'aux joints d'assemblage des joints de tablier, puisque ces endroits sont plus sujets aux fuites que les autres.

Si la garniture est déchirée lors de la pose, elle doit être enlevée sur toute la longueur du joint de tablier et rejetée. Une nouvelle garniture doit être mise en place sur toute la longueur du 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.

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 GLISSIÈRES ET GARDE-FOUS 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 seront nécessairement différents des plans de soumission, puisque les poteaux doivent être 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.

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 de plans à fournir selon le format ISO A1.

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 documents 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 7.4-1 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 Direction du laboratoire des chaussées ou par l'un de ses mandataires lorsque le contrat fait l'objet d'un suivi en usine.

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

9.3.3 Fabrication

La fabrication est vérifiée en usine par le personnel du Laboratoire des chaussées, ou par l'un de ses mandataires, 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. Puisque la rouille blanche apparaît surtout lorsque les pièces en acier galvanisées sont accolées les unes contre les autres, il faut s'assurer 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. Mentionnons que les fournisseurs que l'on voit le plus souvent sur les chantiers du Ministère sont Camille Castonguay inc., Services Techniques DCE et Transfo-Soudure inc. Il peut arriver à l'occasion que les dispositifs de retenue proviennent d'un autre fournisseur, le surveillant doit alors être un peu plus vigilant lors de la réception des dispositifs de retenue au chantier.

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 peinture » 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 ($87\text{ }\mu\text{m}$ 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 $75\text{ }\mu\text{m}$ minimum compte tenu des problèmes à obtenir l'épaisseur de $87\text{ }\mu\text{m}$.

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 Direction du laboratoire des chaussées, puisque celui-ci porte principalement sur les méthodes de travail du fournisseur. En cas de doute, le surveillant doit consulter la Direction du laboratoire des chaussées, notamment en ce qui a trait aux soudures et à la galvanisation.

Toute anomalie doit être immédiatement signalée à l'entrepreneur afin que les correctifs soient apportés rapidement de façon à ne pas retarder indûment les travaux.

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.

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.

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 au moyen de mortier cimentaire des trous du béton des assises afin que la plaque d'ancrage des poteaux soit supportée uniformément.

Un problème persistant de nivellement du béton de chasse-roue ou de trottoir 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 vibreur 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 ou des trottoirs 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) peut être envisagée. Cette solution toute simple, 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 2 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 bloc des tiges d'ancrage (l'utilisation de rondelles en acier galvanisé sous le poteau peut être nécessaire dans certaines circonstances; cette pratique est acceptable en autant 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 doit se faire selon les exigences du serrage à bloc de l'article 15.7.6.1.1 « Mise en place des boulons » du CCDG. Le serrage est limité au serrage à bloc afin que les profilés ne soient pas déformés; généralement, le serrage à bloc est réalisé avec une clé à mâchoire ou à fourche de longueur d'au plus 400 mm.

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 du poteau sont du type TC (ASTM F 1852) dans le but d'avoir une tête ronde du côté de la circulation automobile et ainsi réduire le plus possible les aspérités. Puisque le serrage des boulons ne se fait qu'à bloc, il ne faut pas casser la tige de vissage présente à l'extrémité du boulon comme c'est normalement le cas lors du serrage final de ces boulons.

Dans le cas des tiges d'ancrage des poteaux en acier, le serrage des boulons doit aussi se faire à bloc comme cela est exigé au CCDG.

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 ou du trottoir 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);
- 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 rétro réfléchissantes 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.

Mentionnons 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 7 « Dispositifs de retenue » du *Tome II – Construction routière* 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 685 mm. Cette tolérance verticale d'installation doit être reprise sur au moins une longueur de lisses en tôle d'acier ondulée. Lorsque cette distance verticale dépasse 75 mm, il faut modifier les profils des approches ou celui de la glissière de façon à ramener cette distance sous les 75 mm.

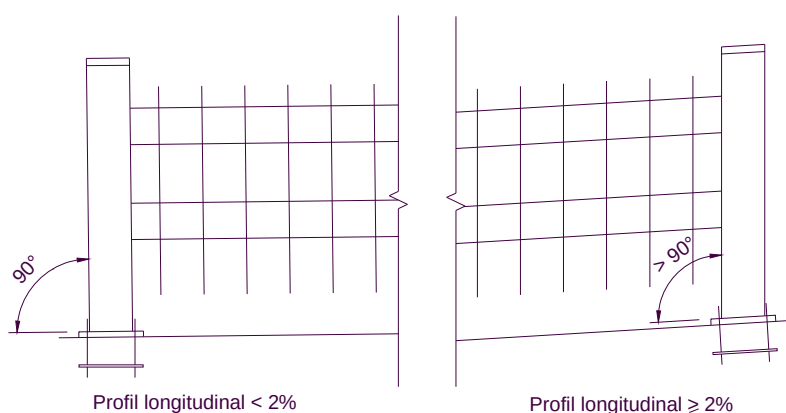


Figure 9.3-1 Positionnement des éléments d'une glissière en acier

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'épaule 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 et le nombre minimal de copies de plans à fournir selon le format ISO A1.

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 documents 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, 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.

La figure 7.4-1 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 selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

La conformité des matériaux utilisés et de la fabrication sont généralement vérifiées en usine par le personnel de la Direction du laboratoire des chaussées ou par l'un de ses mandataires lorsque le contrat fait l'objet d'un suivi en usine.

La fabrication est vérifiée en usine par le personnel du Laboratoire des chaussées, ou par l'un de ses mandataires, 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 dispositifs 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, 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 peinture » 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 Direction du laboratoire des chaussées, notamment en ce qui a trait aux soudures et à la galvanisation.

Toute anomalie doit être immédiatement signalée à l'entrepreneur afin que les correctifs soient apportés rapidement de façon à ne pas retarder indûment les travaux.

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 référer 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 afin 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.

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



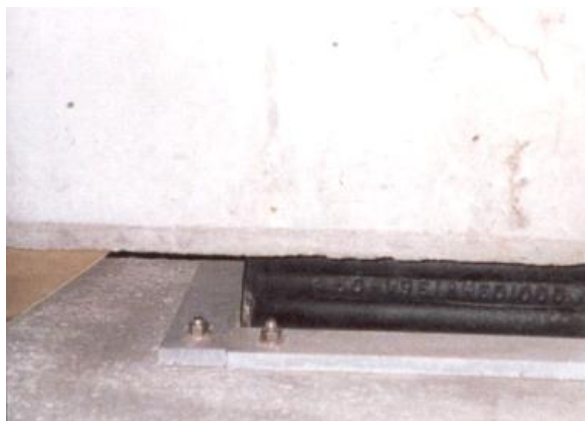
1. Appareil d'appui à élastomère confiné (guidé)



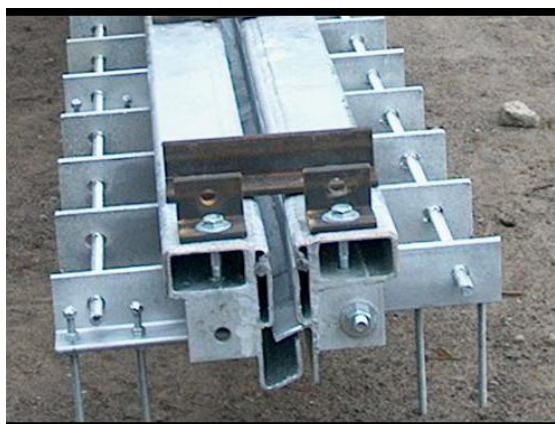
2. Appareils d'appui à élastomère confiné (guidés) sur blocs d'assise



3. Appareils d'appui en élastomère fretté fixes pour poutres en béton



4. Cadre en acier d'un appareil d'appui en élastomère fretté



5. Joint de tablier de type HSS



6. Joint de tablier à plus d'une garniture



7. Essai d'étanchéité d'un joint de tablier



8. Dispositif de retenue avec poteaux posés selon la verticale (profil supérieur à 2 %)

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 9 – ÉQUIPEMENTS

GÉNÉRALITÉS

- ❖ Aviser Direction du laboratoire des chaussées pour suivi de la fabrication en usine (suivi non systématique)

APAREILS D'APPUI

Documents requis

- ❖ Plans d'atelier et note de calcul
- ❖ 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)
 - o 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 le devis spécial ou dans les plans
 - Points de levage
 - o 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 Direction du laboratoire des chaussées
- ❖ Coulis cimentaire : selon norme 3901 du Ministère (voir « Liste des matériaux relatifs au béton de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées »)

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

Assurance de la qualité

- ❖ Assurance de la qualité : Chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003)
- ❖ 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
 - o 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
 - 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
 - Poutres en béton : cadre en acier à mettre en place aux appuis mobiles
 - Poutres en acier : tiges d'ancrages 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
 - 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 $< 20\text{ MPa}$
- ❖ Vérifications à faire avant la pose des poutres ou bétonnage du tablier – Appareil d'appui à élastomère confiné
 - Procédure d'installation indiquée aux plans d'atelier

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

- 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)
- 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)
 - o Température des surfaces de contact : > 10 °C (pendant l'injection + 24 heures)
 - o Fermer évent après 5 secondes d'écoulement continu
 - o Maintenir pression d'injection 5 secondes additionnelles
 - o 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
 - Après le bétonnage de la dalle sur poutres en acier : lever le tablier (lorsque demandé au devis spécial)
 - Écrous à mettre en place sur tiges d'ancrage (serrage à bloc, conserver distance minimale indiqués dans les plans entre les écrous et la plaque)
 - Appareils d'appui à élastomère confiné
 - Plaques d'attache
 - o À enlever aussitôt la poutre déposée sur l'appareil
 - o À enlever environ 24 heures après le bétonnage d'un tablier
 - Tous les appareils d'appui
 - Vérifier la localisation exacte indiquée dans les plans
 - Partie inférieure, partie supérieure ou plaque d'appui de l'appareil d'appui à souder à la poutre
 - o À faire aussitôt les poutres d'une travée posées
 - o Si nuance de ces éléments est 350AT ou 350A : utiliser électrodes compatibles (habituellement E48018)
 - o Selon les exigences du chapitre 7 du présent manuel
 - Entreprise de soudage (division 2) et soudeurs qualifiés
 - Attestation sur-le-champ de la conformité des soudures par inspecteur en soudage (rapport écrit à fournir dans les 7 jours)
 - T° maximale de la plaque d'appui (appareil d'appui en élastomère fretté) : 150 °C

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
 - Avant le levage : avis écrit signé par un ingénieur ayant inspecté lui-même l'ouvrage (après la construction)
 - 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

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

JOINTS DE TABLIER

Documents requis

- ❖ Plans d'atelier
 - Signés et scellés par un ingénieur
 - Visés par le surveillant
 - Joints d'assemblage : à localiser loin des points bas du profil transversal
 - Longueur maximale des sections de joint : 12 m
 - Ouverture « J » pour joints fournis par LCL Ponts : 10 mm de plus
 - Le dessin de la garniture doit apparaître sur les plans

Matériaux

- ❖ Conformité vérifiée en usine par Direction du laboratoire des chaussées
- ❖ Assurance de la qualité : Chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003)

Mise en œuvre

- ❖ Réception des joints de tablier
 - Déchargement et entreposage adéquats (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
 - o Si température change rapidement : moyenne des dernières 48 heures pour pont en béton ou des dernières 24 heures pour un pont en acier
 - Mesuré $\perp$ au joint (même pour pont avec biais)
 - Remplacement d'un joint de tablier
 - Enlèvement complet de l'enrobé
 - o 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
 - o Vérifier le profil proposé et l'impact de l'ajout de chaque morte
 - Conduits de services publics dans chasse-roues, trottoirs ou glissières
 - o À protéger durant les travaux
 - o Manchons pour mouvements de translation à poser
 - o 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
 - o Selon les profils de la dalle
 - Remplacement d'un joint
 - o Enlèvement complet de l'enrobé : selon profil accepté par le surveillant (à la suite du relevé d'arpentage)
 - o Enlèvement partiel de l'enrobé : selon profil du pavage demeuré en place (épaulement > 40 mm)
 - Positionner le joint à l'aide des vis d'ajustement du joint
 - o Couper excès de longueur des vis
 - o Mettre vis du côté approprié des plaques d'ancrage afin d'éviter conflit avec armature de dalle

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

- Une fois le joint positionné
 - Vérifier le niveau du dessus du joint aux chasse-roues et trottoirs (+ 0 mm et – 15 mm maximum)
 - Fixer immédiatement le joint par soudage aux armatures
 - Une fois le joint fixé, enlever 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
 - o Entreprise de soudage division 3 et soudeur qualifié sauf
 - Joint à plus d'une garniture LCL (joint d'assemblage soudé)
 - Entreprise de soudage division 1 ou 2 et soudeur qualifié
 - Regrouper mise en place du joint et soudures dans même journée
 - Soudures supervisées par le représentant du fabricant du joint
 - o Vérifier alignement des profilés d'enclenchement avant le soudage
 - o Souder jusqu'à l'ouverture de l'enclenchement de la garniture
- ❖ Vérifications à faire avant le bétonnage
 - Ultimes vérifications (positionnement, ouverture)
 - Boucher l'ouverture entre les fers 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 fers d'enclenchement
 - Interdire la circulation de chantier jusqu'à ce que le béton > 25 MPa
 - 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 ou d'un joint à plus d'une garniture (si demandé au devis)
 - Ouverture minimale entre les profilés d'enclenchement lors de la pose : 40 mm (sinon attendre baisse de la température). Pour les joints fournis par LCL Ponts : ouverture minimale est de 50 mm
 - Au moyen des outils et lubrifiant fournis par le fournisseur
 - Précautions particulières au pied des chasse-roues, trottoirs 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
- ❖ 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 et glissières, aux joints d'assemblage et vis-à-vis des épaulements
 - 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

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

GLISSIÈRES ET GARDE-FOUS 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 Direction du laboratoire des chaussées
- ❖ Assurance de la qualité : chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003)

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 chapitre 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 bloc
 - Boulons TC : tête ronde du côté de la circulation (ne pas casser la tige de vissage)
- ❖ 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)
 - 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 III et adhésif classe 3) : au niveau indiqué dans les plans (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 685 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 Direction du laboratoire des chaussées en usine
- ❖ Assurance de la qualité : chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003)

Mise en œuvre

- ❖ 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 du tablier
 - Dessous du drain : 150 mm au-dessous du tablier
- ❖ 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
 - o Protection à installer pour ne pas éroder le remblai
 - o Chaussée sous le drain : conduite d'évacuation
- ❖ Mise en place des drains d'interface (vis-à-vis culée galerie)
 - Près d'un joint de tablier situé au pont bas du profil longitudinal (en amont du joint)
 - Bétonner en même temps que le joint de tablier

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

CHAPITRE 10

MEMBRANE D'ÉTANCHÉITÉ

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	10-1
10.1 MATÉRIAUX	10-1
10.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ	10-2
10.3 MISE EN ŒUVRE	10-2
10.3.1 Nettoyage des surfaces	10-2
10.3.2 Correction des surfaces	10-5
10.3.3 Pose de la membrane d'étanchéité	10-9
FIGURE	
Figure 10.3-1 Zones associées au dégel	10-13
PHOTOGRAPHIES	10-21
AIDE-MÉMOIRE	10-23

INTRODUCTION

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 climatiques 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 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.

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 3801 du Ministère : Mortiers cimentaires en sac

10.1 MATÉRIAUX

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 de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle se trouve 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 de 8 m 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 le réchauffement de la membrane par temps chaud et ensoleillé pourrait causer.

10.2 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux doit être faite selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

10.3 MISE EN ŒUVRE

10.3.1 Nettoyage des surfaces

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 sur une hauteur de 25 mm pour permettre la pose adéquate du solin.

Une fois débutés le nettoyage d'une dalle neuve ou le nettoyage complémentaire d'une dalle existante, 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 adhérents. 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. En effet, ces deux situations entraînent une érosion 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.

Le nettoyage devrait être fait après l'enlèvement des éclaboussures et des bavures consécutives 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.

La mesure du relief de la dalle, au moyen du test de la tache de sable, devrait être effectuée avant le nettoyage des surfaces au cas où des mesures correctrices seraient requises. Cette façon de faire permet de nettoyer la dalle après la réalisation de ces mesures et d'éviter qu'un autre nettoyage soit nécessaire. Si tel n'était pas le cas, un nettoyage complémentaire à la suite de la réalisation des mesures correctrices, tel que cela est décrit pour le nettoyage d'une dalle existante, serait alors requis avant le nettoyage au jet d'air précédant la pose de la couche d'accrochage de la membrane.

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 inaccessibles à l'équipement de nettoyage avec billes d'acier sur roues 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, l'entrepreneur doit prendre les moyens nécessaires pour protéger les ouvriers et les riverains pendant ces travaux.

Bien que les billes d'acier soient recyclées en grande partie d'une façon continue par l'équipement, une plaque aimantée se déplaçant sur roues est 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 – nettoyage de base

Le nettoyage de base des surfaces consiste à enlever toute matière étrangère des surfaces de béton; de plus, il consiste à enlever toute matière cimentaire ou tout agrégat mal adhérents.

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 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/po²) 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/po²)) 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 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 et demeurées ouvertes à la circulation.

Dalle existante – nettoyage complémentaire

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

Le nettoyage au jet d'air doit être effectué immédiatement avant la pose de la couche d'accrochage et immédiatement avant la pose de la membrane d'étanchéité. Cela permet d'enlever les poussières et les débris 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 pluie précédant la pose de la couche d'accrochage. 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.

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.

10.3.2 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 sa répétabilité 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.

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 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, 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 des surfaces 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, 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 relief d'une zone de dalle existante, l'entrepreneur doit corriger les surfaces selon les exigences des documents contractuels, de façon à obtenir 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.

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 ait été effectué moins de 48 heures avant 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. 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 aucun mortier offert sur le marché n'est formulé pour une utilisation inférieure à 10 mm.

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 de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées », laquelle se trouve sur le site internet du Ministère. Un mortier spécialement formulé pour utilisation à basse température ($< 5^{\circ}\text{C}$) doit être utilisé lorsque les conditions climatiques 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.

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 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 en tout point doit être de 15 mm. 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.

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 pluie suivant la fin de la période de cure de sept jours des réparations. La période sans pluie 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 pluie. 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.

10.3.3 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-routes, trottoirs ou glissières, la pose de la membrane sur l'ensemble de la dalle et la pose du solin.

10.3.3.1 Délais et conditions climatiques

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 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 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 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.

Délais – dalle neuve

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 climatiques. 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 trois jours consécutifs.

L'entrepreneur est donc autorisé à poser la couche d'accrochage dès la fin d'une période de séchage de trois jours consécutifs 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. 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 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 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.

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.

Délais – dalle existante

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 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 5 % de latex a été utilisé pour réparer une dalle (couche mince), la couche d'accrochage peut être posée après une période de 24 heures sans précipitations suivant l'enlèvement des matériaux de cure et de toute eau stagnante sur la dalle.

Périodes autorisées

Les périodes autorisées dans le devis spécial 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 1^{er} 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 climatiques 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 climatiques exceptionnellement difficiles.

Il peut arriver que le texte relatif aux périodes autorisées ne se trouve pas dans le devis si le concepteur, lors de la préparation des plans et devis d'une dalle neuve, était certain que la pose de la membrane allait se faire bien avant la fin des périodes autorisées. Le surveillant ne devrait pas permettre la pose de la membrane dans des conditions défavorables sous prétexte que le devis ne l'interdit pas.

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.



Figure 10.3-1 Zones associées au dégel

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.

10.3.3.2 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 climatiques 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 un enrobé temporaire est 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 de 600 mm.

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 broser 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 pluie, il serait tout de même prudent de consulter le fabricant de la membrane à ce sujet.

10.3.3.3 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; un équipement de petit gabarit est utilisé près des bordures. Mentionnons que le chalumeau manuel 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 climatiques 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 m² 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 climatiques 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, 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 abritée 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 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, 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 maroufler 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.

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 maroufler 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 maroufler 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 maroufle 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 °C 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.

Dans le cas où un espace libre existerait entre un drain et une bordure, celui-ci 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. Les caractéristiques d'adhérence sont telles que, lorsqu'une membrane est posée au moyen d'un équipement de pose mécanisé, les poches d'air sont pratiquement inexistantes.

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, 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. 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. Une peinture en aérosol est couramment utilisée pour marquer le contour des poches d'air.

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.

PHOTOGRAPHIES

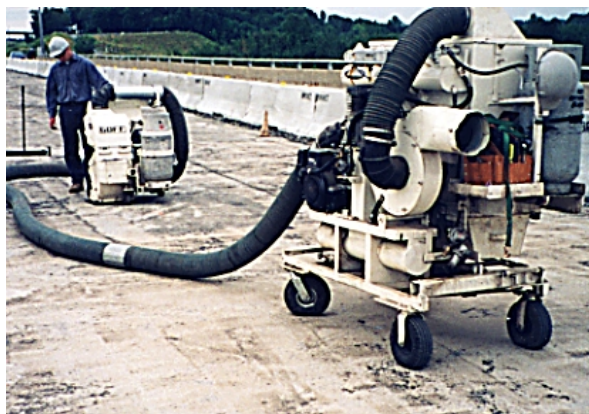
MEMBRANE D'ÉTANCHÉITÉ



1. Nettoyage de base d'une dalle existante (eau sous pression)



2. Test de la « tache de sable »



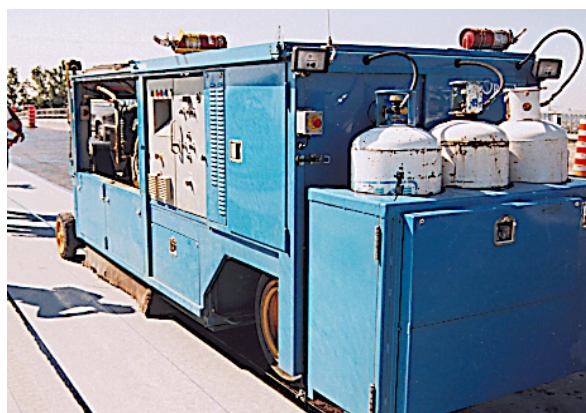
3. Nettoyage d'une dalle neuve (billes d'acier)



4. Petit équipement de pose mécanisé utilisé près des bordures



5. Chalumeau à buse simple



6. Équipement de pose mécanisé



7. Vérification de l'adhérence de la membrane (chaîne)

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 10 – MEMBRANE D'ÉTANCHÉITÉ

MATÉRIAUX

- ❖ Norme 3701 du Ministère

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

- ❖ Voir chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transports* (version 2003)

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 commencé
- ❖ Dalle neuve
 - Enlever les éclaboussures et bavures de béton avant de nettoyer
 - 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
- ❖ Dalle existante
 - Nettoyage de base
 - Enlever toute matière étrangère (et matière cimentaire ou agrégat mal adhérents)
 - Immédiatement après l'enlèvement du revêtement existant
 - Au moyen d'un jet d'abrasif humide (sans huile) ou d'un jet d'eau haute pression
 - Si résidus bitumineux difficiles à enlever
 - o Équipement sur roue (eau haute pression de type *spin jet* : 30 à 40 MPa ou 4 500 à 6 000 lb/po²)
 - o Plaque d'essai (56 à 84 MPa ou 8 400 à 12 600 lb/po²)
 - Nettoyage ou rinçage 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

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

Correction des surfaces

- ❖ Test de la « tache de sable » (mesure du relief)
 - Fournisseur : Centre de recherche et de contrôle appliqué à la construction inc. (514-255-1700)
 - 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
 - Nettoyage préalable des surfaces (jet d'abrasif humide ou jet d'eau haute pression)
 - Dalle neuve
 - Si non conforme après meulage : voir l'article 7.10 du CCDG
 - Pas de correction à l'enrobé
 - Dalle existante
 - Si non conforme : meuler (surfaces indiquées par le surveillant) et/ou corriger les surfaces (mortier ou enrobé)
 - o 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
 - Préparation des surfaces selon l'article 15.4.3.5.1 du CCDG
 - Matériau
 - Norme 3801 du Ministère (vérifier « Liste des matériaux relatifs au béton de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées »)
 - 20 MPa minimum à 24 heures
 - Cure
 - 24 heures (produit de cure formant membrane translucide avec colorant fugace)
 - Vérifier adhérence des surfaces corrigées
 - o Enrobé EC-5
 - 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 pluie
 - Délai d'attente si pas de réparation de dalle : 24 heures sans pluie
 - Épandage uniforme du liant d'accrochage (0,20 ℓ/m^2 : émulsion cationique ou anionique)
 - Épaisseur minimale : 15 mm
 - Compaction à faire immédiatement après épandage de l'enrobé

Pose de la membrane d'étanchéité

- ❖ Délais et conditions climatiques
 - Avis de 24 heures à demander
 - Rappel : 3 jours maximum entre la pose de la membrane et celle de l'enrobé à chaud
 - Délais pour couche d'accrochage
 - Période sans précipitations : après enlèvement matériaux de cure et eau stagnante
 - Dalle neuve
 - o De base : 13 jours + 24 heures sans précipitations

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

- o Minimum : 7 jours + 72 heures sans précipitations
- Dalle existante
 - o Si réparation dalle : 7 jours + 24 heures sans précipitations
 - o Pas de réparation de dalle : 24 heures sans précipitations
 - o Si correction à l'enrobé : pas de délai mais surfaces sèches et propres
- Attendre fin de la cure des chasse-roues, trottoirs et glissières + 24 heures sans précipitations
- Dalle existante réparée avec béton latex 5 % : 24 heures sans précipitations
- Dalle existante corrigée avec de l'enrobé : aucun délai (surfaces propres et sèches)
- Période autorisée
 - Dalle neuve (voir article « Membrane » du devis) et dalle existante (voir article « Décapage » du devis)
 - Zone 1 (sud du Québec) : 15 mai au 1^{er} novembre
 - Zones 2 ou 3 : 15 mai au 15 octobre
- Conditions climatiques
 - T° > 5 °C et à la hausse à l'ombre (air + béton)
 - Pas de pose s'il pleut (arrêter travaux lorsque la pluie survient lors de la pose)
- ❖ Couche d'accrochage
 - Produit spécifié par le fabricant de la membrane (voir « Liste des matériaux relatifs au béton de ciment éprouvés par le Laboratoire des chaussées »)
 - 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 (600 mm)
 - Taux de pose : 0,15 ℓ/m^2 (avant évaporation du solvant ou de l'eau, épandage uniforme)
- ❖ Membrane préfabriquée
 - Équipements de pose
 - Chalumeau manuel
 - o Petites surfaces ou près des bordures et joints de tablier
 - Équipement de pose mécanisée (si exigé dans le devis)
 - o Équipements acceptés listés dans le devis spécial
 - o Équipement de petit gabarit près des bordures
 - Paramètres de soudage
 - Critères à respecter
 - o Filet de 20 mm de bitume fondu
 - o Débordement de bitume aux joints longitudinaux
 - o 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)
 - o Chalumeau : 2 m/min.
 - o 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

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

- Pose mécanisée
 - Prolonger aire de travail pour circulation de l'équipement
 - Garder les roues de l'équipement propres
 - Près des joints de tablier
 - o Pose manuelle (1 m)
 - o Étendre bourrelet de bitume immédiatement après la pose de chaque bande
 - o 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 : $> 5^{\circ}\text{C}$
 - Produit à utiliser : spécifié dans le devis (T° du produit $> 20^{\circ}\text{C}$)
 - 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
 - Vérifier la présence de poches d'air (marteau ou chaîne), réparer s'il y a lieu
 - o Poches d'air : surtout par temps chaud et ensoleillé ainsi que pose manuelle
 - o Après la pose de la première bande de membrane
 - o Après la pose de chaque autre bande de membrane
 - Vérifier la présence de plissements, réparer s'il y a lieu
 - o 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

CHAPITRE 11

REVÊTEMENT EN ENROBÉ

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	11-1
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 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 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 du laboratoire des chaussées 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 climatiques 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 doivent être exécutés par un sous-traitant spécialisé dans ce type de travaux; 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 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. Une rencontre de tous les intervenants avant le début des travaux, au cours d'une réunion de chantier par exemple, doit être organisée 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, ce produit peut être dangereux à manipuler et dommageable pour l'environnement.

Lorsque les conditions climatiques 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 11.4.2 « 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 2 restrictions importantes concernant l'enrobé utilisé sur les structures. La première concerne l'interdiction d'utiliser des scories d'acier comme granulats (à cause du poids supplémentaire sur l'ouvrage qui en résulterait). La deuxième concerne quant à elle l'obligation d'utiliser des matériaux vierges seulement (dans le but de maximiser la durée de vie du revêtement et par conséquent la protection qu'il apporte à la dalle).

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.

Contrairement au béton, 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 selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

La Direction 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.

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 à la centrale mentionnée au CCDG 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 ou oscillants sur les ponts.

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.

Correction du profil à l'approche

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.

Un remblai sans retrait peut parfois être spécifié dans le devis spécial; ce béton de très faible capacité 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 contenue 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.

Le surveillant ne doit pas autoriser les travaux de décapage sur une dalle, ou l'une de ses parties si 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 dans le devis spécial. Le surveillant doit se référer au chapitre 10 « Membrane d'étanchéité » de ce manuel pour plus d'informations.

Il faut délimiter au préalable la zone à décaper au moyen de traits de scie. Cette délimitation des travaux est importante pour éviter d'enlever de l'enrobé sur le bord d'une voie adjacente ouverte à la circulation. Elle permet aussi d'obtenir un joint transversal rectiligne et durable à la jonction entre 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 pourrait penser que les matières étrangères laissées en place seront enlevées lors du nettoyage de base mentionné au chapitre 10 « Membrane d'étanchéité » 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.

Matériel utilisé pour le décapage

L'équipement utilisé pour le décapage doit être d'un poids inférieur à 20 t sans toutefois excéder la capacité affichée du pont. 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 le poids de l'équipement qui est limité à 20 t, l'entrepreneur doit donc 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 déjà 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 serait prudent 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 vers le haut à cause du peu d'attention porté dans le passé au respect du profil longitudinal lors de la construction de la dalle.

Bien que le concepteur ait eu 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, soit la membrane d'étanchéité ou 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 possibles. 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 :

- Les zones inaccessibles au planeur ayant un mandrin de 2 m, notamment près des bordures et des joints de tablier, doivent être traitées au moyen d'un planeur de faible largeur.

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. Mentionnons que l'utilisation d'un jet d'air suffit parfois pour effectuer ce travail. 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 15.7.7 « Perçage des pièces métalliques » 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

Le poids de l'équipement utilisé pour le planage doit respecter les exigences du devis spécial sans toutefois excéder la capacité affichée du pont. Mentionnons qu'un planeur ayant un mandrin d'environ 2 m de largeur a une masse de 25 t – 30 t alors qu'un planeur de 1 m a une masse d'un peu moins de 20 t.

Les exigences du devis peuvent être de deux ordres, soit il est exigé que l'entrepreneur fournisse une note de calcul détaillée (selon la norme CAN/CSA-S6) signée par un ingénieur démontrant que les efforts engendrés, dans le tablier ou la dalle selon les indications du devis spécial, par le planeur sont inférieurs à ceux d'un chargement CL-625, soit l'utilisation d'un planeur avec un mandrin de 1 m est imposée (afin de rendre inutile, lorsque la restriction de charge sur l'ouvrage n'est pas inférieure à 20 t, l'obligation de fournir la note de calcul). Le concepteur a choisi l'une ou l'autre de ces options selon la présence ou non d'un affichage de capacité réduite sur l'ouvrage et l'âge de l'ouvrage (pour une dalle reposant sur des poutres ou des longerons). Ces exigences sont requises étant donné la masse très compacte des planeurs et de la nécessité de diminuer les vibrations transmises au tablier.

Puisqu'il n'est pas possible de s'approcher suffisamment des chasse-roues, des trottoirs, des glissières, des joints de tablier et des drains avec un planeur ayant un mandrin de 2 m, il est nécessaire d'utiliser un planeur plus étroit à ces endroits. 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 en remplacement d'un planeur de faible largeur. 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 se fait généralement 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 requise 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 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 mise au-dessus de la membrane (taux de pose : $0,20 \text{ l/m}^2$). Le liant d'accrochage posé sur la couche de correction 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 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. 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 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 cure complète du liant avant de procéder à la pose de l'enrobé, sauf lorsque les conditions climatiques sont difficiles comme cela est indiqué plus loin dans ce chapitre. La cure 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 climatiques

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 plutôt que de risquer d'endommager la membrane d'étanchéité par la pose d'un liant à base de bitume fluidifié. 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; 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 et du taux d'humidité ambiants.

Des produits d'entreprise 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 climatiques ne respectaient pas les exigences du CCDG. Le surveillant se doit de consulter le répondant dans le domaine des enrobés de sa direction 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 l'option « vibration » ou « oscillation » des gros équipements comme des rouleaux qui servent à compacter l'enrobé mis en place sur les ponts. Cette exigence s'impose afin d'éviter des dommages au système structural. Il faut être très vigilant sur ce point, car les opérateurs ne sont pas tous au fait de cette exigence, ou encore certains oublient de désactiver l'option « vibration » ou « oscillation » lors des passages des rouleaux entre les approches et le tablier du pont. Mentionnons que l'option « oscillation » a été introduite au Québec en 2006 par un fournisseur de rouleaux qui en fait la promotion notamment sur le fait qu'il peut être utilisé sans danger sur les ponts. Par contre, tant et aussi longtemps que le Ministère n'aura pas donné son aval à cette nouvelle technologie, le surveillant se doit de la refuser compte tenu des risques importants qui y sont associés.

Lorsque les travaux de construction ou de réparation d'un pont sont réalisés en plus d'une phase, les exigences du devis spécial 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 devis spécial 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 climatiques 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. Le poids de ces équipements ne doit pas cependant excéder la capacité affichée du pont. La largeur des finisseurs 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 finisseurs; 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 finisseurs; 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 le finisseur 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, le finisseur peut être équipé 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 lorsqu'un relevé d'arpentage est effectué pour rectifier le profil (dans le cas où les joints de tablier sont éliminés ou remplacés).

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 le finisseur, 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. La masse minimale des rouleaux statiques 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 nécessaire au compactage est proportionnel au nombre de finisseurs utilisés et au rythme de livraison de l'enrobé au chantier.

Les rouleaux à pneus ne sont généralement pas employés sur les ponts de peu d'envergure même s'ils peuvent être utiles pour compacter un enrobé d'épaisseur variable comme c'est le cas pour la couche de correction d'une dalle existante. Plusieurs problèmes sont associés à ce genre d'équipement. L'enrobé a tendance à adhérer aux pneus lorsque ceux-ci sont froids; les pneus n'ont pas le temps de se réchauffer suffisamment pour être d'une efficacité quelconque compte tenu de la faible superficie de la plupart des ponts. Par contre, ce type de rouleaux est utilisé couramment dans certaines directions 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.

Conditions climatiques

La température des surfaces à recouvrir doit être suffisamment élevée pour permettre la mise en place appropriée du revêtement. 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 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. Il est spécifié au devis spécial qu'après le 1^{er} octobre, l'entrepreneur doit procéder au compactage de l'enrobé immédiatement derrière le finisseur. 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 finisseurs 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 le finisseur. 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.

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, il faudrait alors recouvrir la dalle d'un géotextile blanc imbibé d'eau afin de réduire la température de 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 » 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 chaud. Cette façon de faire réduit les dommages à la membrane tout en permettant de la recoller au béton de la dalle.

Joint 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 le finisseur doit être posée manuellement; notons que cela ne s'applique pas pour la couche de surface, car le finisseur 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 la même épaisseur d'enrobé près des joints qu'ailleurs sur la dalle, et ce, pour chacune des couches d'enrobé. 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 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 du finisseur.

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 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 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 un finisseur suffisamment large pour couvrir toute la largeur du pont. Cela est rarement possible, puisque la largeur maximale des finisseurs disponibles est d'environ 7 m. Il est tout de même possible d'utiliser un seul finisseur 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 un seul finisseur, il faut utiliser plusieurs finisseurs pour couvrir toute la largeur du pont. Cette façon de faire est valable pourvu que les finisseurs se suivent d'assez près 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.

Lors de la pose de la couche de surface, si la température de l'enrobé d'une première bande se situe entre 40 °C et 85 °C, celui-ci doit être chauffé à plus de 85 °C juste avant d'effectuer la mise en place d'une autre bande d'enrobé. Il existe sur le marché des équipements à chauffage radiant spécialement conçus pour cette tâche et il faudrait, en conséquence, éviter d'utiliser un équipement avec une flamme vive qui altérerait les propriétés du bitume.

Lors de la pose de la couche de surface, si la température de l'enrobé d'une première bande est inférieure à 40 °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, car 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 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 dans le devis spécial; 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 à cause du support structural fourni par le tablier.

Enrobé à chaud sur une partie de pont

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 au finisseur.

L'entrepreneur peut s'opposer à l'utilisation d'un finisseur 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. 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 30 mm à cause de la mauvaise performance du mélange sur une plus grande épaisseur. L'enrobé EG-10 ou ESG-10 est employé uniquement lorsque l'épaisseur de la correction dépasse 30 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. 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 30 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, le devis spécial exige généralement 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 du délai prescrit dans le devis spécial, 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 est ensuite remise à l'entrepreneur pour qu'il puisse réaliser les travaux.

L'entrepreneur devrait aussi informer le surveillant sur la manière dont il envisage de procéder 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 du finisseur. Ce fil doit être localisé vis-à-vis d'une des lignes du relevé d'arpentage et selon le profil longitudinal final désiré. Le finisseur suit le profil du fil au moyen d'ajustements manuels ou au moyen d'un palpeur électronique; la pente transversale du finisseur 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'un finisseur équipé 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'un finisseur équipé 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. 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 plusieurs couches 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 le finisseur 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 le finisseur au moyen d'un niveau à bulle ou d'un niveau électronique fixé sur une longue règle droite. Cette pratique permet d'ajuster le finisseur au besoin afin d'obtenir le moins de déficiences possibles quant au drainage des eaux.

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 du finisseur doit être uniforme et le nombre d'arrêts de ce dernier doit être limité au strict minimum. La vitesse normale du finisseur 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 du finisseur, l'entrepreneur doit s'en tenir à l'épandage au râteau.

Il est important de mentionner que la vitesse d'avancement du finisseur a un impact important sur le degré de compaction espéré. En effet, une vitesse de déplacement trop rapide du finisseur, 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 » du finisseur, 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 devis spécial peut exiger, surtout pour les routes où la circulation est particulièrement forte, la vérification de la conformité des joints transversaux au moyen de la règle de 3 m. Cette vérification, qui est accompagnée d'une forte pénalité, est largement répandue dans le domaine routier. Le surveillant ne devrait pas avoir à effectuer souvent ce genre de vérification pour la simple et bonne raison que les joints transversaux sont pratiquement inexistants sur les ponts compte tenu de la faible longueur de ceux-ci.

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.

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 (anciennement appelé de « type HSS »). Cette exigence du devis spécial, 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.

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 aura tendance à disparaître très rapidement.

11.3.3.2 Mise en place de l'enrobé sur une nouvelle dalle

Il est prévu au CCDG qu'une seule couche d'enrobé sur une dalle neuve, 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.

Enrobé temporaire (dalle neuve)

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 dans le devis spécial comme cela est mentionné au chapitre 10 « Membrane d'étanchéité » de ce manuel. L'enrobé temporaire est remplacé par le revêtement permanent le printemps suivant.

Le type d'enrobé à utiliser et l'épaisseur à prévoir sont spécifiées 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 bas de gamme compte tenu de sa courte période de service. Il faut omettre l'application du liant d'accrochage, car en plus d'être inutile, celui-ci rendrait plus difficile l'enlèvement de l'enrobé temporaire.

Le prix de l'enrobé temporaire devrait être le même que celui de l'enrobé permanent en autant que le concepteur ait choisi le bon code d'ouvrage lors de la préparation des bordereaux, ce qui est le cas lorsque le concepteur n'était pas sûr, au moment de finaliser les documents de soumission, que l'enrobé permanent serait posé avant la fin de la période autorisée pour la pose de la membrane d'étanchéité. 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 devrait 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



1. Planeur de 1,8 m de largeur – mesure de l'épaisseur planée



2. Planeur de faible largeur opérant près d'un joint de tablier



3. Mise en place de la couche de correction (avec guide)



4. Biseau entre joint de tablier en biais et finisseur (correction sur dalle existante)



5. Compactage près d'un joint de tablier



6. Compactage près d'un drain



7. Vérification du profil vis-à-vis d'un joint de tablier (règle de 3 m)



8. Vérification de profils avec niveau électronique



9. Vérification de la drainabilité (correction sur dalle existante)



10. Mesure de la compacité au nucléodensimètre



11. Sciage d'un joint froid (travaux en phases)



12. Bâche conforme

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 11 – REVÊTEMENT EN ENROBÉ

NOTE

Consulter au besoin le *Guide technique sur la mise en place des enrobés bitumineux* de la Direction du laboratoire des chaussées

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
 - Granulats vierges seulement

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

- ❖ Voir chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transports* (version 2003)
- ❖ Voir *Guide technique sur la mise en place des enrobés bitumineux* publié par la DSEI
- ❖ 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
 - Dalle et approches
 - Enrobé et membrane d'étanchéité 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 capacité affichée du pont
 - Équipement de poids inférieur à 20 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
 - Avec un petit planeur circulant selon l'axe du joint (enlever convoyeur)
 - 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 (EB-10S par couche de 30-40 mm)
 - Assurer l'écoulement des eaux en tout temps (trous sur côtés des drains)
 - Balayage des surfaces immédiatement derrière le planeur
 - Matériel
 - Respecter capacité affichée du pont
 - Équipement de poids inférieur au tonnage mentionné au devis (mandrin d'environ 2 m)
 - Petit planeur près bordures et joints de tablier

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
- ❖ 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 sur 600 mm près des bordures)
- ❖ 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))
- ❖ Interdire véhicules sur surfaces traitées

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

Enrobé préparé et posé à chaud

- ❖ Voir les articles 13.3.4 (Généralités) et 15.11.4.3 (Particularités aux ponts) du CCDG
- ❖ Conditions climatiques
 - 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.)
 - Coordination plus serrée des rythmes de fabrication et de pose
- ❖ Membrane d'étanchéité
 - Propreté des pneus ou des chenilles des équipements
 - Finisseurs : 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
- ❖ Drains
 - À bloquer (cours d'eau)
- ❖ 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):
 - T° : 40 °C – 85 °C : chauffer le joint
 - T° < 40 °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)
 - Matériel
 - Respecter capacité affichée du pont
 - Finisseurs seulement (pose manuelle : endroits inaccessibles)
 - Largeur minimale de 3 m (excluant rallonges)
 - Rouleaux à cylindres d'acier : poids > 10 t
 - Pas de rouleaux vibrants ou oscillants sur le pont ni à moins de 2 m des culées
 - Rouleaux à pneus : pas exigés (voir texte de ce chapitre)
 - Couche supplémentaire d'enrobé sur les approches (à poser en premier)
 - Enrobé sur partie de pont : correction manuelle et couche de surface au finisseur
 - Correction à l'enrobé
 - Coordination des rythmes de fabrication et de pose
 - Enrobé EB-10C ou EC-10 en 1 ou plusieurs couches (EB-10S ou ESG-10 si couche supérieure à 30 mm)
 - Épaisseur minimale de 25 mm

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

- Relevé d'arpentage à faire par entrepreneur lorsque demandé au devis spécial (sur lignes longitudinales indiquées dans le devis)
 - o Délai minimum avant travaux (voir devis spécial)
 - o Vérifier les profils proposés
 - o Vérifier épaisseurs proposées : 75 mm max. en moyenne ou 90 mm max. en tout point; si dépassement, vérifier la capacité portante du pont
 - o Vérifier méthode de pose
 - o Si pas de relevé d'arpentage à faire : améliorer les profils au mieux (« utiliser un ski »)
- Travaux
 - o T° maximale entre les couches : 85 °C
 - o Compactage : 4 passages de rouleau
 - o Vérifier profils (niveau électronique et eau) (0,5 % min. vers drains)
 - o 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
 - o Autoriser couche de surface si drainage des eaux est correct (camion citerne)
- Couche de surface
 - Coordination des rythmes de fabrication et de pose
 - Enrobé EB-10S ou ESG-10 (40 mm)
 - Lorsque demandé
 - o Bordures en enrobé aux extrémités du pont
 - o Vérification des joints transversaux (règle de 3 m)
 - o 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
 - o Vérifier au nucléodensimètre lors du pavage (par entrepreneur)
 - o Enrobé avec bitume polymère PG 64-34 et PG 58-40 posé après le 1^{er} octobre : compactage immédiatement derrière le finisseur
 - 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), fer chaud à utiliser
 - 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
 - À enlever avant pavage permanent

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

CHAPITRE 12

MURS DE SOUTÈNEMENT HOMOLOGUÉS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	12-1
12.1 DOCUMENTS REQUIS	12-2
12.2 EXIGENCES DE CONCEPTION	12-3
12.3 MATÉRIAUX	12-4
12.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ	12-5
12.5 MISE EN ŒUVRE	12-6
12.5.1 Fond des excavations	12-7
12.5.2 Mise en place des matériaux granulaires du massif des murs remblais renforcés ou à ancrages multiples	12-8
12.5.3 Construction de la paroi en blocs de béton imbriqués	12-9
12.5.4 Géométrie	12-9
FIGURES	
Figure 12.2-1 Profondeur des fondations	12-4
Figure 12.5-1 Mur remblai renforcé – exemple	12-7
PHOTOGRAPHIES	12-11
AIDE-MÉMOIRE	12-13

INTRODUCTION

Les murs qui sont construits pour le ministère des Transports 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.

La plupart 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, exceptionnellement 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, il est fortement recommandé qu'une rencontre soit 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 fournis par l'entrepreneur) pour s'assurer que les exigences du Ministère et celles du fournisseur sont bien comprises par tous les intervenants. Mentionnons que 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 des structures recommande au surveillant de lui fournir à la fin des travaux une évaluation de la qualité du produit et de sa mise en place.

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 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). Rappelons que le lien vers le BNQ se trouve sur le site intranet de la Direction de la recherche et de l'environnement.

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 du mur. 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. 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 avant de les transmettre au concepteur. De même, il doit s'assurer que la note de calcul ainsi que le devis de construction sont signés par un deuxième 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 les étudier et le nombre minimal de copies de plans à fournir selon le format ISO A1.

Le surveillant doit faire viser les plans d'atelier et la note de calcul par le concepteur, 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 7.4-1 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 murs ne peut pas débuter avant que les plans d'atelier visés aient été retournés à l'entrepreneur.

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 des murs 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.

Mentionnons tout de même que la hauteur de la fiche dans le sol est d'au moins 1,8 m, sauf si le mur repose sur le roc. La fiche peut être réduite à 0,4 m lorsque cela est indiqué à l'avis technique pertinent, soit pour un mur remblai renforcé par des treillis métalliques avec paroi en gabions, un mur caisson en acier et un mur caisson en bois. Ces murs, dont la paroi repose directement sur le sol, ont une faible sensibilité au tassement différentiel. La sensibilité au tassement différentiel d'un mur est indiquée au chapitre 5 « Murs » du *Tome III – Ouvrages d'art des normes du Ministère*. De plus, pour les murs qui ont une sensibilité moyenne au tassement différentiel, il est possible de réduire la fiche à 0,4 m pour autant que les exigences de l'avis technique pertinent quant à la nature du sol sous la paroi soient respectées (voir la figure 12.5-1). Dans ce cas, le sol existant sous le mur peut être laissé ou non en place comme cela est indiqué dans 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 maximale du Proctor modifié.

Mentionnons, par contre, qu'il n'est pas possible de réduire la fiche sous les 1,8 m pour les murs ayant une sensibilité élevée au tassement différentiel.

La figure 12.2-1 montre la profondeur des fondations d'un mur ayant une sensibilité moyenne au tassement différentiel.

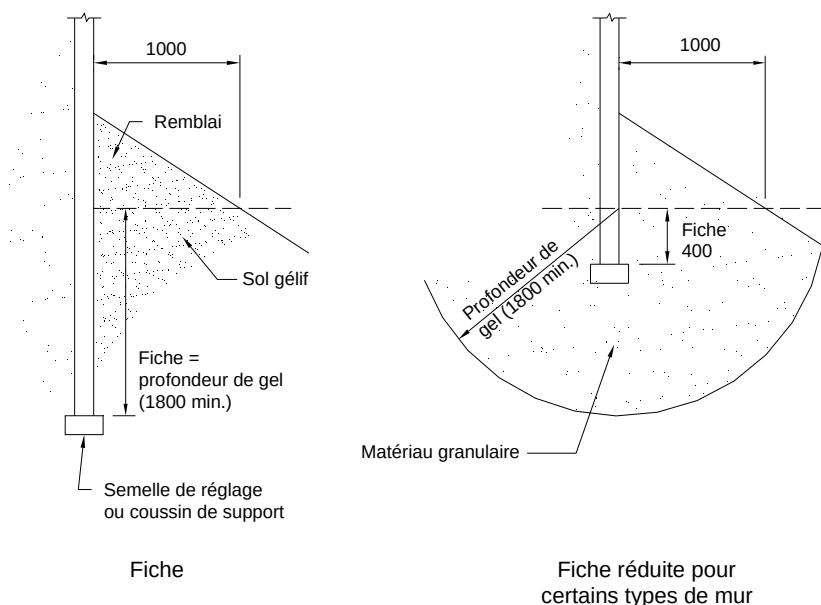


Figure 12.2-1 Profondeur des fondations

12.3 MATÉRIAUX

Les matériaux granulaires pour la construction des massifs des murs remblais renforcés font l'objet d'exigences particulières dans le CCDG, notamment en ce qui concerne les critères granulométriques. En effet, la granulométrie spécifiée permet de s'assurer que ces matériaux ont au moins l'angle de frottement utilisé lors de la conception du mur. Ces critères diffèrent de ceux des matériaux granulaires pour sous-fondation MG 112. Le surveillant doit faire preuve de vigilance, puisque les entrepreneurs pourraient proposer d'utiliser du matériau granulaire MG 112, lequel n'est pas acceptable pour les massifs en remblai renforcé.

Puisque 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, soit 110 mm au maximum, afin de diminuer l'apparition de nids d'abeille, il est précisé au devis spécial qu'il peut utiliser un béton autoplaçant de construction (c'est-à-dire avec un gros granulat 5-14 mm) en remplacement du béton de type V-P spécialement formulé pour cet usage (mélange plus riche en liant et affaissement maximal de 180 mm). Ce béton de type V-P est normalement spécifié sur les plans.

12.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux et la certification des éléments en béton préfabriqué doivent être faites selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

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. 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 4.3 du CCDG. Le surveillant doit se référer à la partie 4.3 « Mise en œuvre » de ce manuel pour plus d'information à ce sujet.

Mentionnons aussi 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 un module de mur lorsque la température mesurée du béton durant la cure excède 70 °C, 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.

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. Quand cette dernière est employée, le béton ne fait aucun gain additionnel de résistance lorsqu'il y a élévation subséquente de la température. La deuxième raison concerne la mise en service du mur en hiver. Dans ce dernier cas, le béton doit avoir la résistance à la compression exigée à 28 jours avant d'être mis en place, ce qui est difficile à réaliser si les modules sont entreposés à l'extérieur avant que cette résistance soit atteinte.

Homologation

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.

Matériaux granulaires du massif des murs remblais renforcés ou à ancrages multiples

Attestation de conformité

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. Il est indiqué au CCDG que ce contrôle doit se faire selon les modalités de l'article 12.3.4 « Contrôle de réception après la mise en œuvre » 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

La plupart 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 ou dans l'avis technique selon le cas, 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 représentant doit être présent 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.

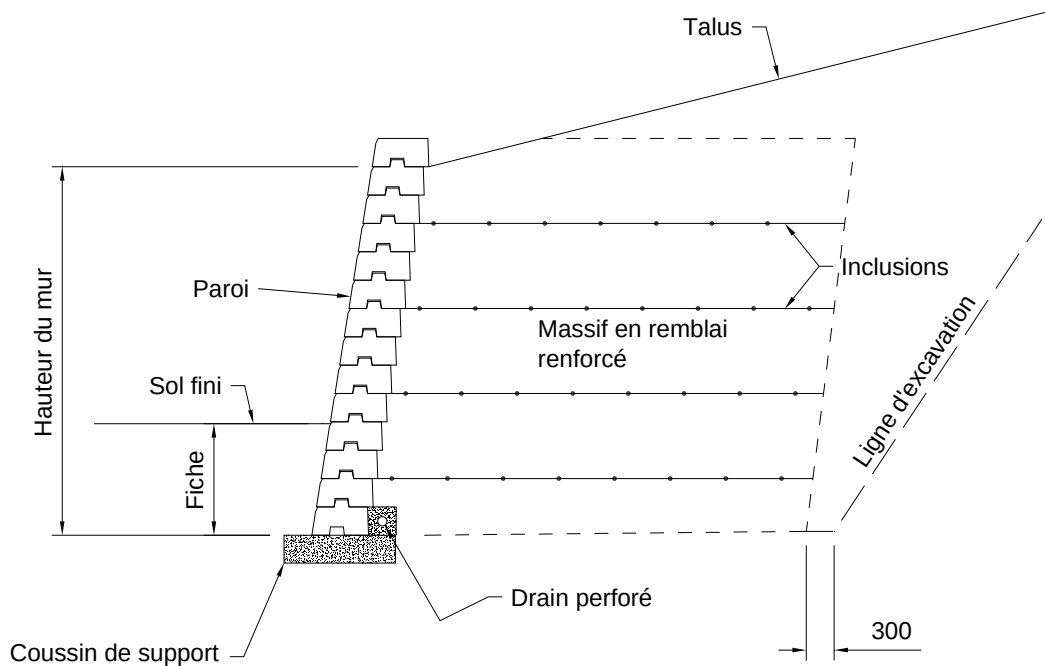


Figure 12.5-1 Mur remblai renforcé – exemple

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.

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.

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

Semelle de réglage

Comme la paroi des murs homologués se compose souvent de plusieurs éléments, une semelle de réglage est mise en place principalement pour s'assurer que la base de mur obtenue est parfaitement horizontale. Les semelles de réglage sont requises pour les murs comprenant des éléments préfabriqués en béton armé de grandes dimensions comme cela est le cas pour les murs Ter-voile, Terre-armée et Ébal. La semelle de réglage 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. Même si les matériaux respectent les normes, des problèmes sont à prévoir si leur mise en place ne l'est pas.

Le surveillant doit s'assurer que, durant une pluie abondante de longue durée (plus d'une journée), les travaux de construction du massif sont interrompus et que ceux déjà exécutés sont protégés soit 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.

Drainage

Des drains doivent être installés lorsque cela est 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.

De plus, dans le cas d'un mur remblai renforcé, l'accumulation d'eau dans le massif renforcé aurait pour effet 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 décèle 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.

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.

12.5.3 Construction de la paroi en blocs de béton imbriqués

Le surveillant doit prêter une attention particulière à l'installation des géotextiles. En effet, tous les joints derrière la paroi doivent être recouverts de géotextile afin d'empêcher la perte des matériaux granulaires.

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.

12.5.4 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.

PHOTOGRAPHIES

MURS DE SOUTÈNEMENT HOMOLOGUÉS



1. Mur à ancrages multiples avec paroi en béton armé



2. Éléments de paroi : regroupés et attachés pour le transport et le stockage



3. Mur remblai renforcé par des géogrilles avec paroi en blocs de béton imbriqués



4. Connexion mécanique des géogrilles aux blocs remblai



5. Mur en porte-à-faux en béton armé préfabriqué



6. Mur remblai renforcé par des armatures en acier avec paroi en béton armé

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 12 – MURS DE SOUTÈNEMENT HOMOLOGUÉS

NOTES

Ce chapitre ne 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 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 Direction des structures 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 (note de calcul ainsi que les plans et devis : signés par un 2^e ingénieur)
- ❖ Visés par le concepteur

EXIGENCES DE CONCEPTION

- ❖ Voir CCDG (à l'intention du concepteur)
- ❖ Avis technique : document contractuel (disponible sur le site Internet du Ministère)
- ❖ Fiche : 1,8 m (peut être réduit à 0,4 m comme indiqué à l'avis technique, voir texte de ce chapitre)
 - Sur roc : encastrement de 150 mm

MATÉRIAUX

Matériaux granulaires pour coussin de support

- ❖ Norme NQ 2560-114 (MG20 ou MG 56 selon les plans d'atelier)

Matériaux granulaires du massif des murs remblais renforcés ou à ancrages multiples

- ❖ Doit rencontrer les exigences du CCDG (ne pas utiliser un matériau MG 112)

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

Autres matériaux

- ❖ Béton
 - Norme 3101 du Ministère
 - Éléments préfabriqués : type V, V-P ou autoplaçant de construction (voir devis spécial)
- ❖ Blocs remblais
 - Norme 3403 du Ministère
- ❖ 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)

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

Voir chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier 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) et $MgSO_4$
- ❖ Contrôle de réception : Voir section 12 du CCDG (contrôle de réception après la mise en œuvre)
 - Lot : 1000 m² 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
- ❖ Réunion préalable entre les intervenants (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
 - Température maximale du béton si cure accélérée utilisée : 70 °C
 - Température d'entreposage : au moins 10 °C

Géotextiles : voir article 12.6 du CCDG

Géogrilles : voir CCDG

Blocs remblais

- ❖ Contrôle de réception : 3 blocs remblais à conserver pour essais ultérieurs

MISE EN ŒUVRE

Présence du représentant du fournisseur du mur

- ❖ Doit être présent 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 géogrid et géotextile : vérifier fiche technique)

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
 - Régilage (selon l'horizontale) du fond d'excavation et de chacune des couches de remblai
 - Semelle de réglage
 - 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 11.8.2.3.2 du CCDG (90 % Proctor modifié)
 - 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 lorsqu'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, si pas indiqué et présence de venues d'eau : contacter le concepteur (à raccorder à l'égout ou à un fossé)
- ❖ Remblai autre qu'un remblai renforcé : voir l'article 15.2.5.5 du CCDG

Construction de la paroi en blocs de béton imbriqués

- ❖ Géotextile
 - À poser derrière la paroi
 - 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 1^{re} rangée sont installés avec précision

CHAPITRE 13

PONCEAUX PRÉFABRIQUÉS

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	13-1
13.1 DOCUMENTS REQUIS	13-4
13.2 EXIGENCES DE CONCEPTION	13-5
13.3 MATÉRIAUX	13-5
13.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ	13-5
13.5 MISE EN ŒUVRE	13-7
13.5.1 Montage	13-13
13.5.2 Raccordement des éléments	13-13
FIGURE	
Figure 13-1 Terminologie d'une structure de type ponceau	13-2
PHOTOGRAPHIES	13-17
AIDE-MÉMOIRE	13-18

INTRODUCTION

Le terme « ponceau » désigne une grande variété d'ouvrages sous remblai ayant une gamme très étendue d'ouvertures, soit de 600 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 des Transports sont des ponceaux conventionnels ou des ponceaux homologués.

Dans le cas des ponceaux rectangulaires en béton armé avec goussets coulés en place, 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.

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, en tôle d'aluminium ondulée, ou bien en polyéthylène (PE).

Un deuxième regroupement comprend les conduits de forme arquée en tôle d'acier ondulée, galvanisée ou aluminisée, ou en tôle d'aluminium.

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 en béton armé normalisés du Ministère ainsi que des produits homologués.

Mentionnons aussi qu'on peut classer les ponceaux en deux catégories : les ponceaux rigides et les ponceaux flexibles (en métal ou en PE). Puisque la plupart de ces derniers sont moins sensibles aux tassements différentiels parce qu'ils peuvent tolérer une certaine déformation, 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 du ponceau (cambrure). Les ponceaux sur radiers ou sur semelles en béton armé coulés en place sont, quant à eux, généralement utilisés lorsque le sol est de bonne qualité (roc). Les ponceaux de forme arquée ou rectangulaire sont privilégiés lorsque le débit à considérer est

important et que le dégagement vertical entre le lit du cours d'eau et le profil de la route est limité.

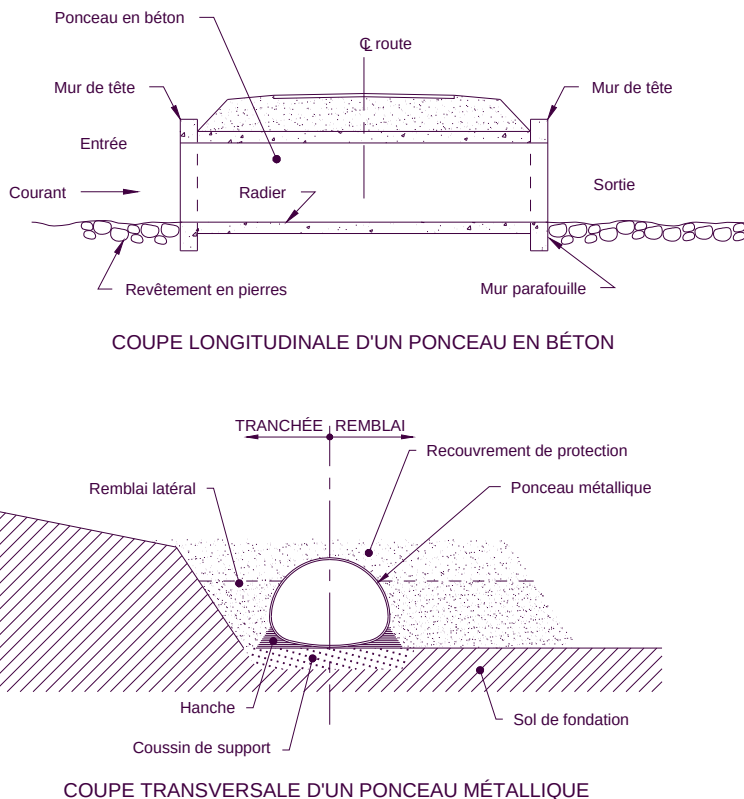


Figure 13-1 Terminologie d'une structure de type ponceau

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.

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 au CCDG 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, il est fortement recommandé qu'une rencontre soit 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 fournis par l'entrepreneur) pour s'assurer que les exigences du Ministère et celles du fournisseur sont bien comprises par tous les intervenants. Mentionnons que 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 des structures recommande au surveillant de lui fournir à la fin des travaux une évaluation de la qualité du produit et de sa mise en place.

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 :

- 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). Rappelons que le lien vers le BNQ se trouve sur le site intranet de la Direction de la recherche et de l'environnement.

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 et le niveau des fondations. Les renseignements complémentaires nécessaires à la construction doivent être fournis par l'entrepreneur.

Les 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 notamment décrire le dispositif mécanique pour retenir entre eux les éléments des ponceaux carrés ou rectangulaires en béton. 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 avant de les transmettre au concepteur. De même, il doit s'assurer que la note de calcul ainsi que le devis de construction sont signés par un deuxième 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 les étudier et le nombre minimal de copies de plans à fournir selon le format ISO A1.

Le surveillant doit faire viser les plans d'atelier et la note de calcul par le concepteur, 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 7.4-1 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.

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.

Puisque 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, soit 110 mm au maximum, afin de diminuer l'apparition de nids d'abeille, il est précisé au devis spécial qu'il peut utiliser un béton autoplaçant de construction (c'est-à-dire avec un gros granulat 5-14 mm) en remplacement du béton de type V-P spécialement formulé pour cet usage (mélange plus riche en liant et affaissement maximal de 180 mm). Ce béton de type V-P est normalement spécifié sur les plans.

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 être de type collier ondulé ou partiellement ondulé comme cela est montré dans les figures 17 et 18 de la norme 7101 du Ministère.

13.4 ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'assurance de la qualité relative aux matériaux et la certification des éléments en béton préfabriqué doivent être faites selon les prescriptions du chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003).

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 4.3 du CCDG. Le surveillant doit se référer à la partie 4.3 « Mise en œuvre » de ce manuel pour plus d'information à ce sujet.

Mentionnons aussi 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 un élément préfabriqué lorsque la température mesurée du béton durant la cure excède 70 °C, 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.

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. Quand cette dernière est employée, le béton ne fait aucun gain additionnel de résistance lorsqu'il y a élévation subséquente de la température. La deuxième raison concerne la mise en service du ponceau en hiver. Dans ce dernier cas, le béton doit avoir la résistance à la compression exigée à 28 jours avant d'être mis en place, ce qui est difficile à réaliser si les éléments préfabriqués sont entreposés à l'extérieur avant que cette résistance soit atteinte.

Mentionnons que les exigences concernant la température maximale durant la cure et celle d'entreposage ne s'appliquent pas pour les tuyaux circulaires en béton.

Certification des tuyaux

Les tuyaux en béton, en tôle d'acier ondulée ainsi que les tuyaux et raccords en polyéthylène (PE) 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.

Homologation

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. L'entrepreneur doit inclure à celle-ci les résultats de la concentration en chlorures, qui doit être inférieure à 50 ppm, lorsqu'un ponceau voûté en tôle ondulée galvanisée est utilisé; cette exigence de l'avis technique s'impose 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.

13.5 MISE EN ŒUVRE

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 part en part 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 rectangulaires ou carrés 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.

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 le 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 (PE) 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 PE. 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 peinture » 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 raccords de 350 mm ou moins et à l'aide d'une scie abrasive pour les raccords 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 » 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 % Proctor modifié).

Comme il est indiqué à la partie 2.5.3.2 « Fond des excavations » du présent 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 ponceaux fermés. 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 de ponceaux fermés, 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 maximale du Proctor modifié. 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 ± 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.

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 distorsion.

Les extrémités des ponceaux peuvent prendre plusieurs formes : projetées ou biseautées, et être munies ou non de murs de tête, de murs en aile et de murs parafoilles. 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 aluminium ou 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 para fouille

Le mur para fouille 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 para fouille est installé à l'extrémité de la dernière section de ponceau.

La hauteur du mur est indiquée dans les plans. Le mur para fouille peut être réalisé en bois traité, en béton ou avec des sacs de sable et ciment selon les indications des plans et devis.

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 référer au chapitre 4 « Ponceaux » du Tome III 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 et en maçonnerie. Mentionnons que le sommet du mur se trouve généralement à au moins 300 mm au-dessus des eaux hautes de conception.

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 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 ondulée galvanisée que le surveillant s'assure que le représentant du fournisseur du ponceau est présent lors de l'assemblage et du remblayage, et que l'entrepreneur suit rigoureusement les méthodes prescrites par le fournisseur et selon 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.

Une façon simple de vérifier le couple de serrage des boulons servant à l'assemblage de l'ouvrage consiste à essayer de desserrer les boulons à vérifier avec la force d'un homme manipulant d'un seul bras une clé normale à mâchoire ou à fourche. S'il n'est pas possible de desserrer les boulons de cette façon, le serrage est adéquat. Mentionnons que cette façon de faire, qui diffère de celle indiquée au chapitre 7 « Ouvrages en acier et en aluminium » du présent manuel, est suffisante pour ce type d'ouvrage.

13.5.2 Raccordement des éléments

L'assemblage des éléments des tuyaux et des ponceaux préfabriqués en béton avec 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.

Ponceau préfabriqué fermé (circulaire, arqué ou rectangulaire)

L'entrepreneur doit normalement installer des points de repère (une corde installée par arpentage ou au laser) pour procéder à l'alignement et à l'élévation du ponceau. 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 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 est recommandé de positionner le bout femelle de chaque section de ponceau au point haut de manière à 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 (PE), 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.

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 (PE) 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 correspondant 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'empêcher les matériaux de réduire la section hydraulique du ponceau et de ne pas créer de vides autour du ponceau qui pourraient, dans certains cas, entraîner l'écrasement de celui-ci. 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.

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 respectent les tolérances suivantes :

- la pente ne doit jamais être inversée sur aucune des sections du ponceau;
- le profil du radier du ponceau ne doit pas s'écarter du profil théorique de plus :
 - de ± 12 mm, si la pente théorique est inférieure à 0,5 %;
 - de ± 20 mm, si la pente théorique se situe entre 0,5 % et 2 %;
 - de ± 25 mm, si la pente théorique excède 2 %.

De plus, aucun écart ne doit entraîner une ouverture d'un joint d'assemblage de plus de 12 mm, à moins d'une indication contraire du fabricant.

Bien que ces tolérances ne soient pas contractuelles, il s'agit d'une règle de bonne pratique nécessaire pour assurer 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.

Ponceau voûté en béton armé

Dans les cas des ponceaux voûtés, le surveillant doit vérifier la position relative des surfaces extérieures des éléments adjacents avant d'autoriser la pose des bandes de membrane pour l'étanchéité des joints. Si un écart important est observé entre les surfaces, le surveillant doit obtenir de l'entrepreneur des propositions de mesures correctives et les soumettre au concepteur pour approbation. Le surveillant doit aussi s'assurer que les fermetures des joints sont satisfaisantes avant d'autoriser la pose des membranes.

Dans le cas du ponceau homologué Fortier CM2, les joints entre les éléments de la voûte doivent être situés à au moins 250 mm de ceux des éléments du radier ou des semelles isolées à moins qu'une clé ne soit prévue dans le radier.

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 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 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 de plus chauffer les surfaces à recouvrir au moyen d'un chalumeau au propane immédiatement avant sa pose. Ces exigences du devis spécial s'imposent afin d'optimiser l'adhérence de la membrane au béton.

PHOTOGRAPHIES

PONCEAUX PRÉFABRIQUÉS



1. Installation d'un tuyau en béton armé (TBA)



2. Compactage au début de la construction d'un tuyau en tôle ondulée aluminisée



3. Mise en place de la partie supérieure d'un ponceau voûté en béton armé



4. Tuyau voûté en tôle ondulée galvanisée sur semelle en béton



5. Ponceau rectangulaire en béton armé



6. Insertion d'un tuyau en polyéthylène 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 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 fortement recommandée pour revoir l'ensemble des documents contractuels (devis spécial, CCDG, avis technique, plans 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 : *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 des structures.

DOCUMENTS REQUIS

Devis de construction, plans d'atelier, note de calcul, plan de montage et plan du dispositif mécanique (ponceau rectangulaire préfabriqué)

- ❖ Signés et scellés par un ingénieur (note de calcul ainsi que les plans et devis : signés par un 2^e ingénieur)
- ❖ Plans d'atelier et note de calcul : visés par le concepteur

EXIGENCES DE CONCEPTION

- ❖ Voir CCDG (à l'intention du concepteur)
- ❖ Ponceaux homologués : avis technique (document contractuel disponible sur le site Internet du Ministère)

MATÉRIAUX

Béton

- ❖ Béton
 - Norme 3101 du Ministère
 - Éléments préfabriqués : type V-P ou autoplaçant de construction (voir devis spécial)

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

- ❖ Norme NQ 3624-120

Géotextiles

- ❖ Norme 13101 du Ministère : type III (ponceaux homologués : type indiqué à l'avis technique)

Membrane d'étanchéité

- ❖ Norme 3701 du Ministère

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

Voir chapitre 4 « Assurance de la qualité » du *Guide de surveillance – Chantier d'infrastructures de transport* (version 2003)

Certification des tuyaux

- ❖ Tuyaux (béton, tôle en acier ondulée, 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
- ❖ Cure des éléments préfabriqués en béton : voir l'article 15.4.3.5.10 du CCDG
 - Température maximale du béton si cure accélérée utilisée : 70 °C
 - Température d'entreposage : au moins 10 °C

Géotextiles : voir section 12.6 du CCDG

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
 - Matériaux granulaires
 - Pour chaque source de matériaux
- ❖ À obtenir avant le début des travaux (ou lorsque changements notables dans l'apparence du matériau).

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

MISE EN ŒUVRE

Présence du représentant du fournisseur d'un ponceau homologué

- ❖ Doit être présent sur le chantier lors de la mise en place du ponceau (ponceau voûté en tôle : voir avis technique)

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, saletés ou autres 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 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 % du Proctor modifié (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 en béton ou radiers en béton : coussin en béton de type V
 - Éviter masses gelées
 - Compacter à 95 % du Proctor modifié (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
 - o Projetée (tuyau en biais par rapport à la route) : extrémités du tuyau perpendiculaires au tuyau
 - o 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 ondulée galvanisée
 - 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)
- ❖ Ponceau préfabriqué fermé
 - Vérifier les points de repère pour l'alignement et l'élévation du ponceau
 - Ponceau métallique
 - 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 d'au moins 250 mm, sauf s'il y a une clé dans le radier
- ❖ Membrane d'étanchéité
 - Vérifier la fermeture des joints avant d'autoriser la pose des membranes
 - Membrane soudable lorsque demandé aux plans et devis
 - Remblai inférieur à 1 m : membrane d'étanchéité soudable posée après une période de 24 heures sans pluie
 - o Ponceau voûté en béton : la membrane est posée jusqu'à ce que le remblai ait au moins 2 m
 - Membrane autocollante pour joints
 - 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 « Fondation » de ce manuel

CHAPITRE 14

GALVANISATION, MÉTALLISATION ET PEINTURAGE

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	14-1
14.1 MESURES DE PROTECTION ENVIRONNEMENTALE	14-1
14.2 GALVANISATION	14-2
14.3 MÉTALLISATION	14-4
14.4 PEINTURAGE DES SURFACES D'ACIER	14-5
AIDE-MÉMOIRE	14-7

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, comme la galvanisation, la métallisation ou la peinture, 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

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.

Les mesures de protection environnementale sont traitées au chapitre 5 « Protection environnementale et mesures de sécurité » du *Guide de peinturage des charpentes métalliques*, publié par la Direction des structures.

14.2 GALVANISATION

La présente partie du manuel s'applique notamment au système structural (poutre, diaphragme et contreventement) aux équipements (appareils d'appui, joint de tablier, glissières et garde-fous et drains) et aux armatures du béton. Elle ne couvre pas les produits disponibles en permanence, et galvanisés d'avance, sur le marché. Ces produits sont listés au CCDG et les exigences de galvanisation qui les concernent apparaissent généralement dans leurs normes respectives.

Le procédé utilisé pour la galvanisation est celui à chaud. Cette exigence du CCDG est importante, car il existe maintenant sur le marché des procédés de galvanisation à froid, mais ceux-ci n'ont pas 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, qui est un procédé de protection anticorrosion basé sur la protection galvanique que procure le zinc, est largement utilisée au Ministère pour les équipements de pont, les poutres en acier et les armatures. Dans ce dernier cas, le surveillant doit aussi se référer à la partie 4.3.3 « Armature » du chapitre 4 « Ouvrages en béton » du présent manuel.

La galvanisation à chaud est effectuée en usine et elle est généralement limitée à des éléments d'une longueur inférieure à 13 m en raison de la longueur des bains de galvanisation.

Pour le contrôle de la qualité de la galvanisation d'éléments en acier réalisée en usine, le surveillant doit s'assurer que l'entrepreneur fournisse 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 laboratoire des chaussées afin que ce dernier ou un de ses mandataires 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 Direction du laboratoire des chaussées de toute anomalie qu'il pourrait déceler sur la galvanisation afin que celle-ci resserre au besoin son contrôle de 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 tubes est inférieure à celle de 87 μm normalement exigée pour les armatures et les autres pièces métalliques, car la composition chimique des tubes ne permet pas d'avoir une épaisseur plus grande. De même, l'épaisseur de zinc exigée pour les accessoires de coffrages n'est que de 50 à 87 μm , car il est impossible d'avoir plus à cause de la présence d'imperfection de surface (empêchant de visser les cônes en plastique).

Le surveillant doit référer à la partie 4.3.3 « Armature » de ce manuel, particulièrement aux notions relatives à la réception des armatures au chantier, pour plus d'information concernant les armatures.

Une fois les matériaux livrés au chantier, le surveillant vérifie que leur entreposage 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 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 Direction du laboratoire des chaussées pour s'enquérir des méthodes à utiliser pour l'enlever.

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. Dans tous les cas, une préparation très soignée des surfaces est exigée, c'est-à-dire allant jusqu'au métal nu, afin de favoriser le meilleur contact possible entre le produit de réparation et la surface d'acier. L'application d'un enduit riche en zinc doit être réalisée dans les conditions environnementales spécifiées sur la fiche technique du produit employé.

Les enduits riches en zinc utilisés en usine ou au chantier doivent respecter la norme CAN/CGSB-1.181. Cette dernière comprend des exigences de composition minimales telles qu'une teneur métallique en zinc d'au moins 87 %. Plusieurs enduits, parmi ceux les plus courants sur le marché, ont été évalués par le Ministère et les produits suivants ont été acceptés :

- o «ZRC» de la compagnie ZRC;
- o «Galvano» de la compagnie Métaflux;
- o «Ferox 5017» de la compagnie Ferox;
- o «Crown – 67009» de la compagnie Crown;
- o «Zinga» de la compagnie Zingametal;
- o «Rust-Anode» de la compagnie Bio-Protect SA.

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.

14.3 MÉTALLISATION

Tout comme la galvanisation, la métallisation fournit une protection anticorrosive 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.

Pour les travaux de métallisation réalisés en usine, un contrôle de la qualité est normalement assuré par la Direction du laboratoire des chaussées ou par l'un de ses mandataires. En cas de doute sur la qualité du revêtement, le surveillant doit communiquer avec cette Direction.

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 ne doivent pas être métallisées sauf sur une distance de 5 mm au pourtour des surfaces de contact. 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.

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. Dans tous les cas, une préparation très soignée des surfaces est exigée, c'est-à-dire allant jusqu'au métal nu, afin de favoriser le meilleur contact possible entre le produit de réparation et la surface d'acier. Le CCDG exige que le revêtement métallisé ayant été endommagé soit réparé, soit par métallisation, soit à l'aide d'un enduit riche en zinc lorsque la superficie des surfaces endommagées l'autorise. Le surveillant doit communiquer avec la Direction du laboratoire des chaussées avant de procéder à la réparation par métallisation. Si un enduit riche en zinc est utilisé, le surveillant peut se référer à l'article précédent traitant de la galvanisation pour l'acceptation de l'enduit proposé par l'entrepreneur.

14.4 PEINTURAGE DES SURFACES D'ACIER

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 se trouvent sur le site Internet du Ministère.

Pour les travaux de peinturage réalisés en usine, un contrôle de la qualité est normalement assuré par la Direction du laboratoire des chaussées ou par l'un de ses mandataires. En cas de doute sur la qualité du revêtement, le surveillant doit communiquer avec cette Direction.

En ce qui concerne les travaux réalisés au chantier, le surveillant doit se référer au *Guide de peinturage des charpentes métalliques*, publié par la Direction des structures, pour obtenir toute l'information nécessaire au suivi de ce type de travaux.

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 ne doivent pas être peinturées sauf sur une distance de 5 mm au pourtour des surfaces de contact. 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.

Lorsque les surfaces de semelle inférieure de poutres en acier galvanisé, métallisé ou peinturé sont soudées aux appareils d'appui, le surveillant doit s'assurer que la préparation de surfaces a été adéquate, et que les soudures sont protégées au moyen de 2 couches d'enduit riche en zinc, tel que décrit à la partie 14.2 de ce chapitre. Cette exigence du devis spécial est importante pour éviter d'avoir à faire un travail de décapage des surfaces au chantier.

AIDE-MÉMOIRE

CHAPITRE 14 – GALVANISATION, MÉTALLISATION ET PEINTURAGE

GALVANISATION

- ❖ Ne s'applique pas aux produits disponibles déjà galvanisés sur tablettes
- ❖ Galvanisation à chaud
 - Épaisseur minimale : 87 μm (75 μm pour les tubes HSS, 50-87 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 Direction du laboratoire des chaussées 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 Direction du laboratoire des chaussées de toute anomalie relative aux surfaces galvanisées (rouille blanche, endommagement)
- ❖ Attestation de conformité à fournir
- ❖ Armature : se référer à la partie 4.3.3 « Armature » de ce manuel
- ❖ S'assurer que les surfaces endommagées sont réparées selon les exigences du CCDG
 - Dommage avec largeur jusqu'à 5 mm et longueur jusqu'à 100 mm : enduit riche en zinc
 - Voir texte dans ce chapitre pour liste de produits
 - Dommage avec largeur > 5mm ou longueur > 100 mm : métallisation ou reprise de galvanisation

MÉTALLISATION

- ❖ Surfaces de contact pour assemblages boulonnés : 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 Direction du laboratoire des chaussées en cas de doute sur la qualité du revêtement
- ❖ S'assurer que les surfaces endommagées sont réparées selon les exigences du CCDG
 - Dommage avec largeur jusqu'à 5 mm et longueur jusqu'à 100 mm : enduit riche en zinc
 - Voir texte dans ce chapitre pour liste de produits
 - Dommage avec largeur > 5mm ou longueur > 100 mm : métallisation

PEINTURAGE DES SURFACES D'ACIER

- ❖ Système de peintures homologué par le Ministère (voir site Internet du MTQ)
- ❖ Surfaces de contact pour assemblages boulonnés : 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 Direction du laboratoire des chaussées en cas de doute sur la qualité du revêtement appliqué en usine
- ❖ S'assurer que les surfaces endommagées sont réparées de façon appropriée : voir CCDG
- ❖ Pour les travaux réalisés au chantier
 - Le surveillant doit se référer au Guide de peinture des charpentes métalliques

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

