

# MANUEL DE CONCEPTION HYDRAULIQUE DES PONTS

Procédure pour  
la réalisation des études hydrauliques

---

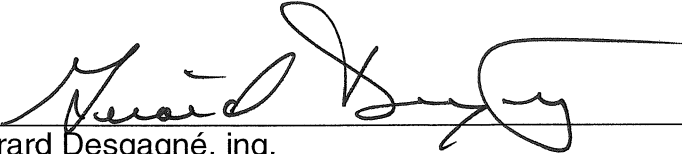
JANVIER 2005

Québec 

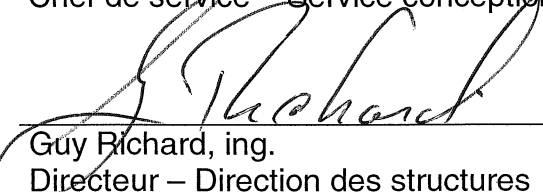


La présente confirme que suite à une revue, le directeur de la Direction des structures, le chef du Service de la conception, les chefs de section et le chef d'équipe du même service approuvent cette nouvelle édition.

Édition janvier 2005

  
\_\_\_\_\_  
Gérard Desgagné, ing.  
Chef de service – Service conception

19/1/05  
Date

  
\_\_\_\_\_  
Guy Richard, ing.  
Directeur – Direction des structures

20/1/05  
Date



# **MANUEL CONCEPTION HYDRAULIQUE DES PONTS**

## **TABLE DES MATIÈRES**

**CHAPITRE 1  
GÉNÉRALITÉS**

**CHAPITRE 2  
PROCÉDURE**

**ANNEXE A  
FIGURES**

**ANNEXE B  
RAPPORTS DE CONCEPTION HYDRAULIQUE**



**CHAPITRE 1**  
**GÉNÉRALITÉS**  
**TABLE DES MATIÈRES**

<b>1.1</b>	<b>OBJET</b>	<b>1-1</b>
<b>1.2</b>	<b>DOMAINE D'APPLICATION</b>	<b>1-1</b>
<b>1.3</b>	<b>EXIGENCES GÉNÉRALES</b>	<b>1-1</b>
<b>1.4</b>	<b>CONCEPTION PRÉLIMINAIRE ET FINALE</b>	<b>1-2</b>

Figure 1.4-1 Organigramme de la procédure de la conception hydraulique préliminaire

Figure 1.4-2 Organigramme de la procédure de la conception hydraulique finale



## 1.1 OBJET

Le présent manuel établit les règles et procédures à suivre pour la conception hydraulique de ponts.

## 1.2 DOMAINE D'APPLICATION

Le manuel s'adresse aux ingénieurs et techniciens travaillant dans le domaine de la conception hydraulique des ponts. Il a pour objectif de faciliter la compréhension des normes de conception et d'en uniformiser l'interprétation ainsi que l'application. Si sa mise en pratique est nécessaire pour l'uniformisation des règles de l'art, elle ne doit pas restreindre l'initiative personnelle, ni empêcher le recours à de nouvelles méthodes concernant la conception hydraulique d'un ouvrage.

## 1.3 EXIGENCES GÉNÉRALES

Le *Guide to Bridge Hydraulics* de l'Association des transports du Canada (ATC) est la référence principale pour la conception hydraulique des ponts. Il est constitué des sept chapitres suivants :

Chapitre 1	Introduction
Chapitre 2	Basic hydraulic consideration
Chapitre 3	Hydrologic estimates
Chapitre 4	Waterway design and analysis
Chapitre 5	Scour protection and channel control
Chapitre 6	Hydraulic aspects of construction, inspection and maintenance
Chapitre 7	Special problems

De façon générale, la conception hydraulique d'un ouvrage d'art doit tenir compte des exigences du Tome III – Ouvrages d'art des normes du ministère des Transports du Québec (MTQ), de la norme CAN/CSA-S6-00 « Code canadien sur le calcul des ponts routiers » et des instructions contenues dans le présent manuel.

Les manuels suivants contiennent des informations supplémentaires relatives aux sujets traités dans le présent manuel.

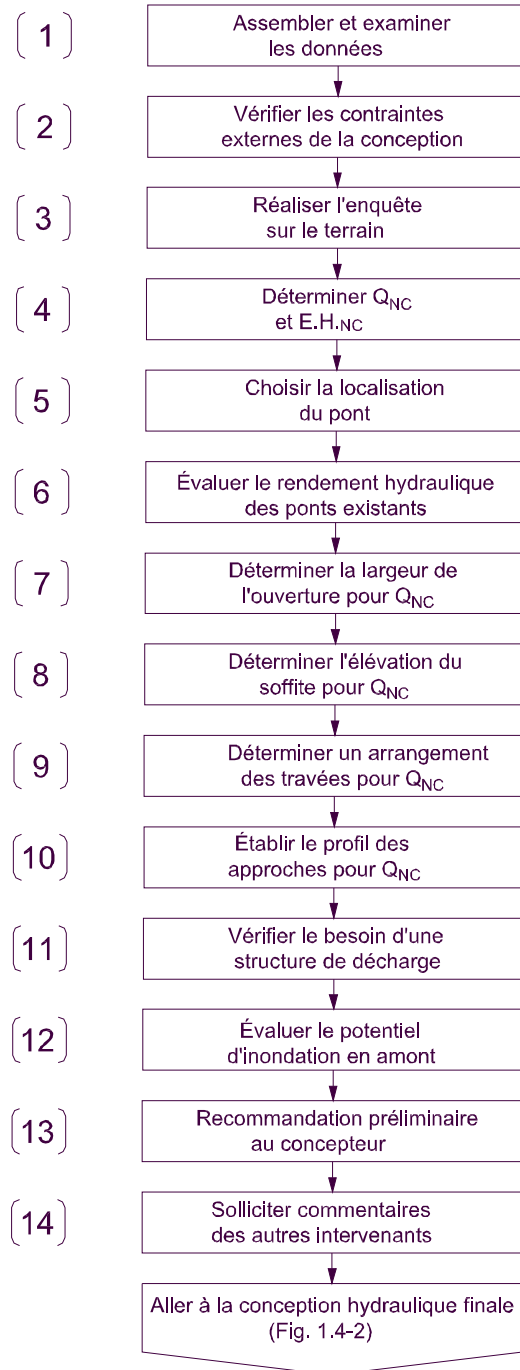
- Manuel de conception des ponceaux du MTQ;
- Manuel de conception des structures, Volume 1, du MTQ;
- Manuel d'inspection des structures, Instructions techniques, du MTQ;
- MTC Drainage Manual, Ministry of Transportation and Communications of Ontario;
- Evaluating Scour at Bridges (HEC 18), FHWA, U.S. Department of Transportation.

#### **1.4 CONCEPTION PRÉLIMINAIRE ET FINALE**

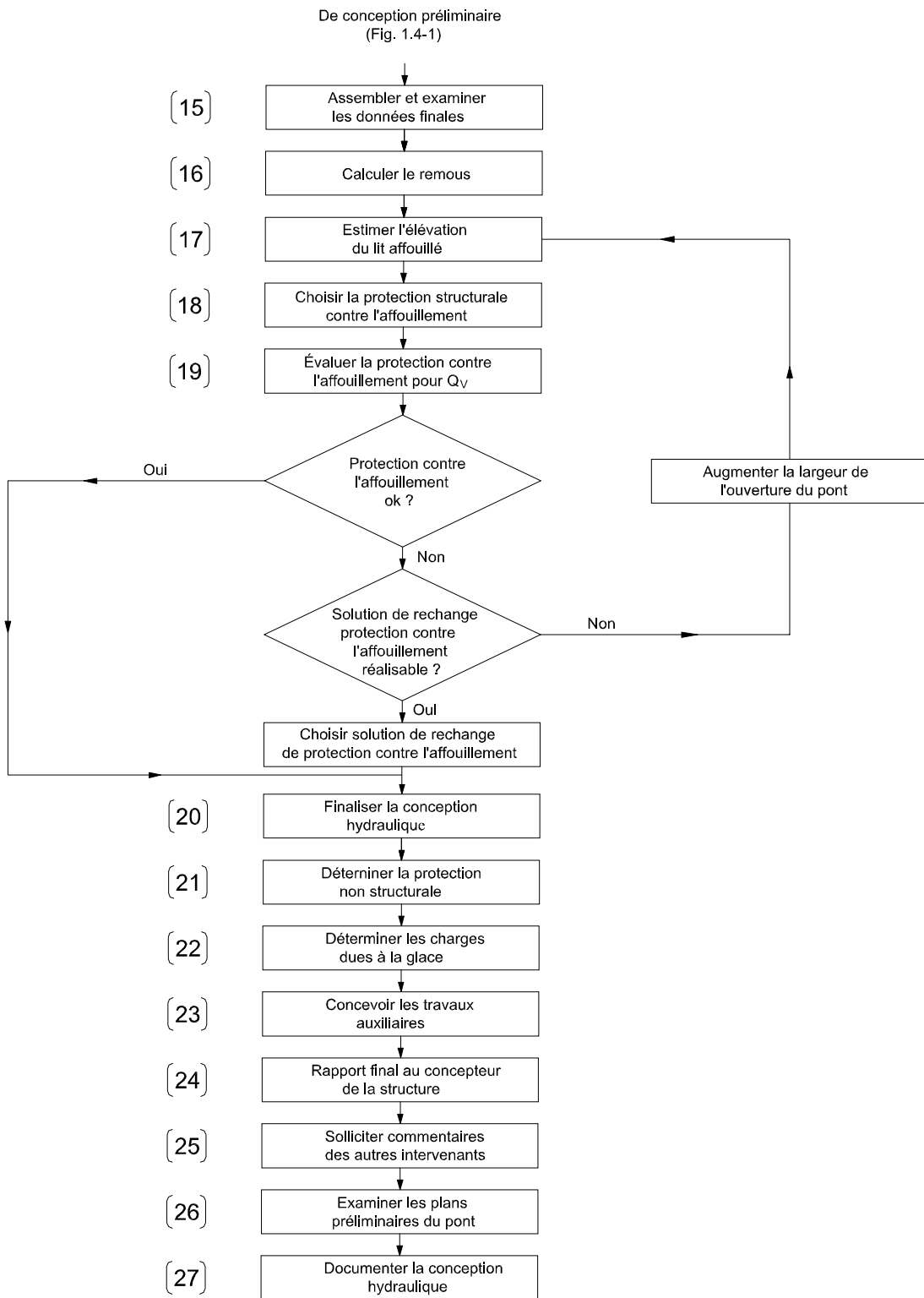
Les avantages d'une bonne conception hydraulique sont considérables, tant sur le plan hydraulique que sur le plan économique et environnemental. En effet, une bonne conception hydraulique peut entraîner une diminution des coûts de construction de façon appréciable et une réduction des problèmes hydrauliques à long terme tels que l'érosion des berges, l'affouillement de lits de cours d'eau, les embâcles de glaces et de débris, etc.

Pour plusieurs traversées de rivière, il est nécessaire de diviser la conception hydraulique en deux phases; préliminaire et finale. Ceci parce que l'étude géotechnique pour les fondations et le relevé d'arpentage ne peuvent souvent être entrepris avant de s'être formé une bonne idée sur la localisation, la longueur et l'aménagement du futur pont. Le but de la conception préliminaire est de fournir cette information. Le stade de la conception préliminaire se termine généralement par une série de recommandations provisoires. L'organigramme à la figure 1.4-1 illustre la procédure de la conception préliminaire.

La conception hydraulique finale est entreprise lorsque l'étude géotechnique et le plan de topographie du site sont disponibles. À ce stade, la localisation, la longueur et l'aménagement du pont sont finalisés et les détails essentiels, tels que la protection contre l'affouillement, sont déterminés. La conception hydraulique se termine par la préparation d'un rapport regroupant les recommandations finales. Plus tard, les aspects hydrauliques du plan du pont préparé par le concepteur de la structure, sont examinés à des fins de commentaires. L'organigramme à la figure 1.4-2 illustre la procédure de la conception hydraulique finale.



**Figure 1.4-1**  
Organigramme de la procédure de la conception hydraulique préliminaire



**Figure 1.4-2**  
Organigramme de la procédure de la conception hydraulique finale

## CHAPITRE 2

### PROCÉDURE

#### TABLE DES MATIÈRES

<b>2.1</b>	<b>CONCEPTION PRÉLIMINAIRE</b>	<b>2-1</b>
Étape 1	Assembler et examiner les données	
Étape 2	Vérifier les contraintes externes de la conception hydraulique	
Étape 3	Réaliser l'enquête sur le terrain	
Étape 4	Déterminer la crue normale de conception et les eaux hautes normales de conception	
Étape 5	Choisir la localisation et l'alignement du pont	
Étape 6	Évaluer le rendement hydraulique des ponts existants	
Étape 7	Déterminer la largeur de l'ouverture provisoire pour la crue normale de conception	
Étape 8	Choisir l'élévation du soffite pour la crue normale de conception	
Étape 9	Choisir un arrangement provisoire des travées pour la crue normale de conception	
Étape 10	Établir le profil des approches pour la crue normale de conception	
Étape 11	Vérifier le besoin d'une structure de décharge	
Étape 12	Évaluer le potentiel d'inondation en amont	
Étape 13	Préparer le rapport hydraulique préliminaire	
Étape 14	Solliciter les commentaires des autres intervenants	
<b>2.2</b>	<b>CONCEPTION FINALE</b>	<b>2-18</b>
Étape 15	Assembler et examiner les données finales	
Étape 16	Calculer le remous	
Étape 17	Estimer l'élévation du lit affouillé	
Étape 18	Choisir la protection structurale contre l'affouillement	
Étape 19	Évaluer la protection contre l'affouillement pour la crue de vérification	
Étape 20	Finaliser la conception hydraulique	
Étape 21	Déterminer la protection non structurale	
Étape 22	Déterminer les charges dues à la glace	
Étape 23	Concevoir les travaux auxiliaires	
Étape 24	Préparer le rapport et les recommandations finales	
Étape 25	Solliciter les commentaires des autres intervenants	
Étape 26	Examiner les plans préliminaires du pont	
Étape 27	Documenter la conception hydraulique	



## **2.1 CONCEPTION PRÉLIMINAIRE**

### **ÉTAPE 1 ASSEMBLER ET EXAMINER LES DONNÉES**

#### **1) Assembler l'information nécessaire**

Cela comprend :

- les cartes topographiques;
- le plan et le profil préliminaires de la route ou une photographie aérienne montrant une traversée proposée;
- des photographies aériennes du site;
- le plan topographique et bathymétrique, si disponible à ce stade de l'étude;
- les dossiers structuraux existants, y inclus les plans et les données des fondations;
- les dossiers de conception hydraulique pour les traversées situées à proximité;
- les cartes de sol;
- les dossiers d'inspection et d'entretien des ponts existants;
- les informations du ministère de l'Environnement, telles que :
  - les cartes de risque d'inondation, si disponibles
  - les niveaux d'eau et les débits sur son réseau de stations de jaugeage
  - la préservation de l'environnement et les rapports qui s'y rattachent
  - les plans de drainage municipaux, les profils, les rapports
  - les informations sur les poissons, la qualité de l'eau, les problèmes environnementaux, etc.;
- les études de drainage agricole disponibles dans les municipalités régionales de comté (MRC).

#### **2) Examiner les données et noter les conditions spéciales du site**

Examiner les notes des enquêtes sur le terrain et les autres données disponibles, et noter toutes les conditions spéciales à être considérées lors d'une conception hydraulique. Cela comprend :

- les conditions anormales de glaces, de débris ou la présence de castors;
- les conditions anormales d'écoulement en aval, telles que la présence d'un lac ou d'une rivière importante;

- le changement potentiel du régime d'écoulement du cours d'eau, tel que la démolition éventuelle d'un barrage;
- l'écoulement à travers champs contournant le site d'un pont lors des crues majeures;
- la dégradation ou la sédimentation du lit d'un cours d'eau;
- le creusage ou l'élargissement artificiel d'un canal;
- le matériau du lit très affouillable, tel que le sable;
- l'affouillement excessif ou les dommages aux ponts existants;
- l'érosion importante des berges;
- les glissements de terrain existants ou potentiels;
- les propriétés en amont probablement affectées par la traversée;
- les propriétés en aval potentiellement affectées;
- les problèmes d'inondation;
- les droits de navigation, de récréation ou autres relatifs à l'eau;
- les projets de préservation de l'environnement affectant possiblement la traversée;
- les problèmes environnementaux ou leurs exigences;
- les changements géomorphologiques potentiels du lit du cours d'eau.

## **ÉTAPE 2 VÉRIFIER LES CONTRAINTES EXTERNES DE LA CONCEPTION HYDRAULIQUE**

Vérifier les exigences des autres intervenants en regard de l'aménagement de plaines inondables, de la navigation et des aspects environnementaux ou autres. Ces exigences doivent être soigneusement examinées pour leur efficacité tant sur le plan pratique que sur le plan rentable. Les intervenants concernés peuvent être :

- les Unités environnementales du MTQ;
- le ministère de l'Environnement;
- la Garde côtière canadienne, le ministère des Pêches et Océans Canada, pour la navigation, etc.;
- les municipalités;
- Hydro-Québec;
- Les compagnies de chemin de fer;
- Les exploitants du cours d'eau.

### ÉTAPE 3 RÉALISER L'ENQUÊTE SUR LE TERRAIN

Les enquêtes sur le terrain doivent être réalisées pour toutes les traversées de cours d'eau, en se référant au chapitre 2 du Manuel de conception des ponceaux du MTQ, et à son formulaire d'enquête comme guide.

### ÉTAPE 4 DÉTERMINER LA CRUE NORMALE DE CONCEPTION ET LES EAUX HAUTES NORMALES DE CONCEPTION

#### 1) Débit de la crue normale de conception $Q_{NC}$

- e) Déterminer la période de retour en fonction de la classification fonctionnelle de la route. Se référer au tableau 2.1-1 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art, des normes du MTQ.
- a) Déterminer  $Q_{NC}$  en utilisant les différentes méthodes de calcul de débit. Se référer au chapitre 3 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC, à la section 2.1.3.1 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art, des normes du MTQ et au chapitre 3 du Manuel de conception des ponceaux du MTQ.

#### 2) E.H. correspondant à $Q_{NC}$ (E.H.<sub>NC</sub>)

Les niveaux des eaux hautes (E.H.) sont nécessaires pour calculer au droit du pont l'affouillement et le remous, pour établir l'élévation du soffite et du profil de la route. Nous vous référons à la section 3.5 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC, à la section 2.1.3.2 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art des normes du MTQ et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles.

Pour plusieurs traversées, le niveau des E.H. est le niveau d'eau correspondant à  $Q_{NC}$  avec les conditions normales d'écoulement en eau libre, c'est-à-dire avec l'écoulement contrôlé par la pente et la rugosité du cours d'eau et de sa plaine inondable.

À d'autres traversées, des niveaux des eaux hautes additionnels peuvent être nécessaires pour tenir compte des embâcles de glaces, des contrôles en aval et d'autres considérations telles que les exigences de la navigation. Par exemple, une traversée de rivière juste en amont d'un lac ayant des variations cycliques de niveaux d'eau qui peuvent demander différents niveaux des E.H. pour les raisons suivantes :

- le calcul de l'affouillement;
- le calcul du remous;
- l'établissement de l'élévation du soffite;
- l'établissement du profil d'approche minimum;
- la navigation.

La figure 2.1, à l'annexe A, illustre cet exemple de différents niveaux des E.H. nécessaires pour la conception et la figure 2.2 illustre l'exemple d'une traversée d'un tributaire d'un cours d'eau.

## 1) Estimation du niveau des eaux hautes (E.H.)

Les méthodes d'estimation des E.H. pour différents types de crues sont :

- E.H. basé sur les données de terrain;
- E.H. basé sur les données enregistrées;
- E.H. basé sur le calcul de la relation niveau-débit;
- E.H. basé sur les calculs du profil de la surface de l'eau;
- E.H. lors des embâcles de glaces;
- E.H. pour la navigation;
- E.H. des cartes de risque d'inondation.

Se référer à la section 3.5 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles.

### a) Niveau des eaux hautes (E.H.) basé sur les données de terrain

L'information obtenue lors de l'enquête sur le terrain est souvent suffisante pour fournir un niveau des E.H. fiable pour des conditions normales et anormales d'écoulement et pour les exigences de la navigation. Toutefois, on doit prendre soin de faire la distinction entre les différents types de niveaux des E.H. mentionnés dans les pages précédentes.

On entend par conditions anormales d'écoulement, un écoulement qui est influencé soit par un lac, une rivière, un barrage, la marée, etc., ainsi que par les embâcles de glaces ou de débris.

L'information sur le terrain est normalement obtenue à partir d'inspections de la traversée proposée et des ponts existants et des interviews avec le personnel d'entretien et les résidents. De nombreux détails sont fournis au chapitre 2 du Manuel de conception des ponceaux du MTQ.

Les données notées sur le formulaire d'enquête sur le terrain doivent être résumées et les résultats soigneusement vérifiés, évalués et examinés avec attention de façon à pouvoir se former une opinion sur leur fiabilité. Le but est d'arriver à un niveau des E.H. ayant une période de retour comparable à celle du débit de conception. En pratique, on peut faire seulement une approximation grossière de la période de retour d'une crue passée à moins que des enregistrements d'écoulement soient disponibles. Dans les cas simples, le niveau des E.H. signalé sera le plus haut noté durant la période d'observation, préférablement de 25 à 50 ans, laquelle peut être considérée comme sa période

de retour. Si le plus haut niveau des E.H. excède de beaucoup le deuxième plus haut, c'est probablement que la crue en était une extrême à laquelle une période de retour fiable ne peut être assignée, ou peut avoir été engendrée par un événement exceptionnel, tel que la rupture d'un barrage ou un glissement de terrain. L'information précise sur le deuxième plus haut niveau des E.H. durant la période d'observation doit alors être obtenue, en estimant que la période de retour peut normalement être la moitié de la période d'observation. On doit prendre soin de distinguer entre le niveau d'eau de glace libre et celui créé par les embâcles de glaces et de débris.

L'autre niveau des eaux hautes sur lequel un effort doit porter est le niveau des eaux hautes annuelles qui correspond à l'élévation moyenne des crues maximales atteintes normalement tous les ans. Ce niveau, souvent atteint lors des crues du printemps, laisse sur le terrain des indices plus facilement détectables par les observateurs. Ce niveau est utile pour calibrer un calcul de la relation-débit qui reflète les conditions annuelles observées.

#### **b) Niveau des eaux hautes (E.H.) basé sur les données enregistrées**

Idéalement, le niveau des E.H. utilisé pour la conception devrait être dérivé d'enregistrements sur une longue période pour lesquels plusieurs détails sur les facteurs externes, tels que les embâcles de glaces, sont disponibles. Cette situation arrive rarement, et on doit par conséquent utiliser les enregistrements disponibles de toutes sortes, tels que :

- les courbes et tableaux de niveau-débit;
- les données sur le niveau des lacs;
- les données sur les marées;
- les observations historiques faites par d'autres organismes.

Il est à remarquer que certaines données mentionnées ci-dessus sont consultables sur les sites Internet des différents organismes publics.

#### **i) Données de niveau-débit enregistrées**

##### **Courbe niveau-débit**

Une courbe niveau-débit est un graphique représentant une série de hauteurs d'eau en fonction des débits correspondants. La courbe peut être tracée à partir des tableaux de niveau-débit habituellement fournis, pour les stations de cours d'eau jaugés, par le Centre d'expertise hydrique du Québec, agence du ministère de l'Environnement. Les courbes niveau-débit peuvent être transposées à des traversées voisines si les conditions hydrauliques sont similaires.

## **ii) Données sur les niveaux de lac**

Des enregistrements de niveaux d'eau pour certains lacs du Québec sont disponibles au Centre d'expertise hydrique du Québec, agence du ministère de l'Environnement.

## **iii) Données sur les marées**

La principale source de données sur les marées est la publication annuelle par le ministère de Pêches et Océans Canada des six volumes des Tables des marées et courants du Canada. Les volumes 2, 3 et 4 couvrent l'étendue de la province de Québec.

## **iv) Observations historiques par d'autres organismes**

Les sources possibles d'observations historiques sont les municipalités, Hydro-Québec, les consultants en drainage, les exploitants de marina, les policiers, les sociétés historiques, etc. Ces sources sont généralement fiables, mais lorsque cela est possible, l'information doit être vérifiée par d'autres moyens.

## **c) Niveau des eaux hautes (E.H.) basé sur le calcul de la relation niveau-débit**

Cette méthode d'écoulement aire-pente est présentée aux sections 4.4, 4.5 et 4.6 du Manuel de conception des ponceaux du MTQ. Cette méthode peut aussi être rassemblée dans un programme informatique. Les résultats doivent être calibrés en fonction des données des niveaux des E.H. obtenus lors de l'enquête sur le terrain.

## **d) Niveau des eaux hautes (E.H.) basé sur les calculs du profil de la surface de l'eau**

Si l'écoulement des eaux est influencé soit par un lac, un réservoir ou une rivière importante, comme cela est illustré aux figures 2.1 et 2.2, la surface d'écoulement ne sera pas parallèle au lit du cours d'eau sur une assez longue distance et la méthode d'écoulement aire-pente citée à la sous-section précédente n'est pas directement applicable. Dans de tels cas, la méthode du calcul de remous par étapes peut être utilisée pour calculer les profils d'écoulement des eaux.

Étant donné que le temps pris pour calculer le remous par étapes est très long,

l'utilisation de programmes informatiques devient très avantageuse. Des logiciels établis pour ce calcul, tels que HEC-RAS et WSPRO, calculent et tracent le profil de la surface de l'eau à toutes les sections transversales pour des écoulements infracritiques et supercritiques, et permettent de tenir compte des effets des obstructions à l'écoulement tels que des ouvrages hydrauliques.

#### **e) Niveau des eaux hautes (E.H.) lors des embâcles de glaces**

Se référer à la section 4.6 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC, à l'article 3.12 du Code canadien sur le calcul des ponts routiers, à la section 2.3.5 du Manuel de conception des ponceaux et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles.

Comme cela a été mentionné précédemment, les embâcles de glaces engendrent parfois des niveaux des E.H. beaucoup plus hauts que ceux présents dans des conditions d'écoulement en eau libre. Il existe des méthodes analytiques pour prédire les niveaux des E.H. lors des embâcles de glaces, mais il est peu probable qu'elles donnent des résultats acceptables surtout là où il y a débordement du lit mineur. Par conséquent, la fiabilité doit être placée sur l'information reçue lors de l'enquête sur le terrain.

Aux sites avec des conditions sévères de glaces, la hauteur probable de l'enchevêtrement des blocs de glaces au-dessus du niveau des E.H. doit être considérée pour l'établissement de l'élévation du soffite du pont. Sur certains cours d'eau, les blocs de glaces peuvent monter de plusieurs mètres au-dessus du niveau général de l'embâcle de glaces.

#### **f) Niveau des eaux hautes (E.H.) pour la navigation**

Le niveau des E.H. doit être le niveau d'eau maximum qui arrive durant la période de navigation. Ce niveau doit être basé sur des observations personnelles faites durant l'enquête sur le terrain, sur des discussions avec les exploitants de marinas et les autres usagers, et les exigences de l'organisme ayant juridiction sur la navigation. Dans le cas d'un cours d'eau assujéti à la Loi sur la protection des eaux navigables, les critères de navigabilité sont établis par la Garde côtière canadienne. Se référer à la section 2.1.4.2 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art des normes du MTQ.

### **g) Niveau des eaux hautes (E.H.) des cartes de risque d'inondation**

Des cartes de risque d'inondation des principaux cours d'eau du Québec sont disponibles au Centre d'expertise hydrique du Québec. Ces cartes donnent la zone d'inondation de la crue centennale et la limite de la crue de 20 ans. Les profils en long du plan d'eau de cette rivière pour ces deux crues sont également disponibles. Ces niveaux des E.H. doivent être vérifiés par les données de l'enquête sur le terrain et par les calculs hydrauliques.

## **ÉTAPE 5 CHOISIR LA LOCALISATION ET L'ALIGNEMENT DU PONT**

Se référer aux sections 2.2 et 2.3 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles.

Un des facteurs hydrauliques les plus importants dans la localisation d'un pont est la stabilité du canal de la rivière. Un canal stable ne change pas de dimension, de forme et de localisation avec les années. Un canal instable est celui dont les changements avec le temps sont assez importants pour devenir un facteur significatif dans la planification ou l'entretien du système routier et des structures qui en font partie.

Une indication de la stabilité de l'ensemble d'une rivière est donnée par la forme du canal. Cette dernière peut être droite, à canaux multiples (entrelacée), à méandres, ou une combinaison de ces formes. Le cours d'eau droit est habituellement stable, celui à canaux multiples est généralement très instable et celui à méandres est modérément instable.

Sur plusieurs cours d'eau naturels, il y a une relation entre les dimensions du canal, la pente, les matériaux environnants et le débit dominant, habituellement d'une période de retour de 2 à 10 ans. Un changement de l'une de ces variables peut entraîner un changement de l'une ou de plusieurs des autres variables. Les effets suivants peuvent influencer la localisation et la conception d'une traversée de cours d'eau :

- l'affouillement du lit dans un canal érosif rétréci par un pont;
- lorsque la pente d'un canal est augmentée par une élimination de méandres, etc., le canal tendra à retourner à une pente plus faible en dégradant son lit;
- la protection des berges pour prévenir le changement de l'alignement du lit à un point peut accélérer l'érosion ailleurs;
- l'érosion à un point dans un canal est normalement accompagnée par une sédimentation à un autre point;

- sur une période de plusieurs années, un canal peut se déplacer et reprendre sa position initiale à plusieurs reprises;
- une augmentation d'un débit dominant, par exemple lors d'un débordement provenant d'un autre bassin versant, augmentera la profondeur et la largeur du canal;
- la présence d'obstacles, tels qu'un embâcle de glaces.

À l'étape préliminaire, le pont doit être localisé et aligné aussi précisément que possible, puisque cette information est une base pour la localisation des trous de sondage de l'étude géotechnique. À l'étape finale, lorsque le rapport de l'étude géotechnique est disponible, quelques ajustements peuvent être nécessaires.

### **Lignes directrices générales**

La localisation et l'alignement provisoires choisis durant l'enquête sur le terrain doivent être révisés au bureau à l'aide des plans et des photographies aériennes, et tous les ajustements nécessaires doivent être faits conformément aux directives suivantes :

#### Localisation générale

Si possible, il faut localiser la traversée sur un tronçon stable d'un canal. Un tronçon relativement rectiligne est préférable, mais une traversée acceptable peut parfois être trouvée au point culminant d'une courbe stable. Il faut s'assurer que le coût de relocalisation d'une route proposée vers un tronçon stable d'un canal n'est pas plus important que le coût des travaux d'aménagement d'une protection sur la section instable d'un canal. Il faut éviter les secteurs à problèmes évidents, tels que les glissements de terrain qui peuvent normalement être identifiés à partir de photographies aériennes.

#### Localisation et alignement des culées et des piles

Après avoir choisi la localisation générale du pont, les culées peuvent être positionnées relativement au canal. Les culées et les piles doivent normalement être alignées avec la direction de l'écoulement. De plus, les piles doivent être alignées de façon à satisfaire, si possible, tous les écoulements. Les colonnes circulaires doivent être utilisées lorsque la direction de l'écoulement change considérablement lors des variations des niveaux d'eau. Les angles de biais doivent normalement être inférieurs à 45°, et de préférence beaucoup moins. Se référer à la section 2.1.3.2, du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art, des normes du MTQ.

## **ÉTAPE 6 ÉVALUER LE RENDEMENT HYDRAULIQUE DES PONTS EXISTANTS**

Évaluer en détail seulement le rendement des ponts qui se conforment à l'enquête sur le terrain et ceux dont l'hydraulique est comparable à celui de la traversée proposée. Les feuillets de l'enquête sur le terrain « Structure existante » et « Information locale » et les autres renseignements doivent être examinés en se référant aux points qui suivent, et le rendement hydraulique du pont doit être estimé comme « inadéquat », « satisfaisant » ou « probablement surdimensionné ». Ces points concernent :

- l'âge du pont;
- l'ampleur des crues observées, par exemple le pont a pris une crue de 50 ans;
- l'écoulement de décharge au-dessus de la route ou à travers les structures de décharge;
- le rehaussement antérieur du profil des approches au pont;
- l'affouillement, par exemple les dimensions et la profondeur de la fosse d'affouillement;
- la sédimentation;
- le dommage causé par l'affouillement, et la réparation du pont qui s'ensuit, y compris la perte du pont;
- la glace ou les autres dommages au pont lors des crues;
- les conditions de fondation comme la nature des sols et le type de fondation;
- un remous excessif;
- l'érosion excessive du canal en aval;
- les embâcles de glaces ou de débris causés par le pont;
- le rehaussement antérieur du tablier pour augmenter la hauteur libre;
- le débordement de bassin versant et autres contournements de l'écoulement;
- d'autres facteurs influençant la capacité hydraulique du pont.

## **ÉTAPE 7 DÉTERMINER LA LARGEUR D'OUVERTURE PROVISOIRE POUR LA CRUE NORMALE DE CONCEPTION**

Chaque fois que c'est possible, il faut utiliser plus qu'une des approches données ci-dessous et comparer les résultats. Comme l'information sur la nature des sols n'est habituellement pas disponible à cette étape, il faut donner plus de poids aux méthodes 1) et 2). Si les résultats diffèrent grandement, il faut examiner les raisons.

### **1) Largeur basée sur la largeur au miroir**

Se référer à la section 2.1.4.2 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art, des normes du MTQ et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles.

En première analyse, nous considérons que la largeur de l'ouverture doit habituellement se rapprocher de la largeur au miroir, au niveau des eaux hautes annuelles, à l'endroit du secteur immédiat de la traversée du cours d'eau. Lorsque l'information disponible le permet, une section transversale du lit du cours d'eau, représentative du secteur immédiat de la traversée proposée, prise perpendiculairement à la direction naturelle de l'écoulement des eaux, est établie pour faire le calcul de la largeur au miroir.

### **2) Largeur basée sur les ponts existants**

Examiner les résultats des évaluations effectuées à l'étape 6 et sélectionner les largeurs minimales d'ouverture existantes qui se sont montrées adéquates pour le  $Q_{NC}$ . Cela peut fournir un bon guide pour dimensionner la nouvelle structure, pourvu que les conditions soient comparables.

### **3) Largeur basée sur l'évaluation préliminaire de l'affouillement**

L'information sur les sols n'est généralement pas disponible à l'étape de la conception préliminaire. Les conditions de sol doivent être déduites à partir de données observées ou à partir des informations contenues dans les dossiers des ponts existants. À partir des informations disponibles, il faut évaluer sommairement les probabilités d'affouillement dans le secteur du pont.

## **ÉTAPE 8 CHOISIR L'ÉLÉVATION DU SOFFITE POUR LA CRUE NORMALE DE CONCEPTION**

La hauteur libre entre le soffite de la structure et le niveau des E.H. déterminé conformément à l'étape 4 doit être suffisante pour prévenir les dommages par l'action de l'écoulement des eaux, des glaces et des débris. Se référer à la section 2.1.4.2 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art, des normes du MTQ et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles.

- 1) Choisir la hauteur libre de base à partir de la section 2.1.4.2.
- 2) Additionner la hauteur libre au niveau des E.H. pour obtenir l'élévation minimale du soffite. Avec un profil de route en pente, la hauteur libre doit normalement être à l'extrémité basse du soffite.

- 3) Calculer le profil requis de la route en additionnant l'épaisseur estimée du tablier du pont à l'élévation minimale du soffite. S'il est plus haut que le profil projeté, considérer un rehaussement du profil.

## **ÉTAPE 9 CHOISIR UN ARRANGEMENT PROVISOIRE DES TRAVÉES POUR LA CRUE NORMALE DE CONCEPTION**

Se référer à la section 2.4.6 du *Guide to Bridge Hydraulique* de l'ATC et à la section 2.1.3.2 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art des normes du MTQ.

Les facteurs suivants doivent être considérés lors de la sélection d'une disposition préliminaire des travées, en ayant à l'esprit les exigences et les restrictions structurales :

- l'avantage d'une travée unique sur les rivières sujettes à de sévères embâcles de glaces, particulièrement aux endroits où l'inondation de propriétés en amont est critique;
- les limitations structurales ou économiques sur les longueurs de travée;
- l'augmentation de l'épaisseur du tablier et de la hauteur du profil de la route avec une augmentation de la longueur d'une travée;
- l'abstention de petites travées sur les cours d'eau transportant des quantités importantes de débris lors des crues;
- les exigences de la navigation;
- d'autres considérations, telles que l'esthétique.

## **ÉTAPE 10 ÉTABLIR LE PROFIL DES APPROCHES POUR LA CRUE NORMALE DE CONCEPTION**

Le profil de la route à une traversée de rivière peut parfois influencer significativement le coût d'un pont et la sévérité des inondations en amont, puisque ce dernier peut contrôler la quantité de l'écoulement de décharge contournant l'ouverture du pont durant les crues extrêmes ou les embâcles de glaces. Se référer à la section 4.3.6 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles.

## **Écoulement de décharge au-dessus de la chaussée de la route**

L'écoulement de décharge est l'écoulement qui contourne l'ouverture du pont principal en passant par-dessus la chaussée aux approches ou à travers une ou plusieurs structures de décharge. Le remblai de la route fonctionne comme un large déversoir et a un très fort potentiel de capacité de débordement, ce qui fournit une valve de sécurité pour éviter l'effondrement des ponts lors des crues extrêmes. C'est également un moyen de réduire le remous lors des embâcles de glaces ou des crues extrêmes, et dans quelques cas, cela peut permettre une réduction considérable du coût du pont. Le principal désavantage du débordement au-dessus de la chaussée est le désagrément et le danger pour les usagers de la route.

La traversée la plus économique d'un cours d'eau est le passage sécuritaire de la crue normale de conception à travers l'ouverture du pont sans l'inondation de la route d'approche tout en acceptant que l'écoulement d'une crue extrême, beaucoup plus grande que la crue normale de conception, se fasse par-dessus la chaussée de la route. Cela « soulage » le pont et apporte les avantages et désavantages suivants.

### **Avantages de l'écoulement de décharge**

- Aussitôt que l'écoulement au-dessus de la route commence, la vitesse d'écoulement à travers le pont diminue et le risque de défauts causés par l'affouillement est ainsi réduit.
- L'écoulement au-dessus de la chaussée réduit le remous d'exhaussement des eaux et du fait même les effets sur les propriétés en amont.
- L'effondrement d'une route lors d'une crue extrême permet le rétablissement de la circulation routière plus rapidement et plus économiquement que dans le cas de l'effondrement d'un pont.
- L'ampleur de la crue qui peut être accommodée par l'écoulement de décharge au-dessus de la chaussée, plutôt qu'à travers une structure de décharge, est illimitée.
- La disponibilité de l'écoulement de décharge peut grandement réduire les effets amonts d'un blocage du canal principal par les glaces.
- Si le tablier du pont commence à être inondé, l'écoulement de décharge peut enlever beaucoup de pression latérale et réduire le risque d'effondrement.

## Désavantages de l'écoulement de décharge

- Les principaux désavantages de l'écoulement au-dessus de la route sont les désagréments et les risques possibles pour les usagers de la route. Par contre, en matière de drainage, il est reconnu qu'il n'y a pas de ligne de conduite sans risque même si la crue maximale probable est utilisée pour la crue de conception. Bien que les inconvénients de l'inondation peu fréquente d'une route soient généralement acceptés dans l'opinion publique, surtout sur les routes mineures, les dangers sur les routes principales, durant les périodes de débordement, doivent être réduits le plus possible par une signalisation adéquate ou par des fermetures de routes.
- Le débordement fréquent, résultant d'un profil excessivement bas des approches, peut demander des réparations périodiques des accotements, des remblais et possiblement des chaussées. Ces problèmes peuvent être surmontés en fournissant une revanche appropriée ainsi qu'une protection adéquate contre l'érosion.

Chaque fois que la topographie locale, la conception géométrique et les autres facteurs le permettent, au moins une des approches du pont doit être gardée aussi basse que possible, dans le but de maximiser le débordement de la route lors des embâcles de glaces ou des crues extrêmes. En considérant les exigences de la revanche, le profil des approches peut être établi selon les étapes suivantes :

- a) Choisir la revanche recommandée à partir de l'article 1.10.8.2 de la norme CAN/CSA-S6-00 du « Code canadien sur le calcul des ponts routiers ».
- b) Établir le profil minimal des approches (niveau des E.H. + la revanche + dévers). Si ce profil est plus haut que celui proposé sur le plan de géométrie, considérer une augmentation du profil. S'il est plus bas, considérer un abaissement du profil s'il faut maximiser l'écoulement de décharge.
- c) Dessiner un profil provisoire de la route. Éviter la concentration d'un débordement près d'un édifice en aval.
- d) Dans des cas spéciaux, par exemple lorsque l'inondation de propriétés situées en amont est critique, une réduction de la revanche peut être justifiée pour parvenir à un profil plus bas de la route.

## ÉTAPE 11 VÉRIFIER LE BESOIN D'UNE STRUCTURE DE DÉCHARGE

Les ponts et les ponceaux de décharge sont habituellement beaucoup plus coûteux que l'écoulement de décharge par-dessus la route, bien que beaucoup plus avantageux pour les usagers de la route. Les structures de décharge doivent être utilisées seulement lorsque justifiées par de sévères embâcles de glaces ou par d'autres conditions spéciales. Nous vous référons à la section 4.3.7 du *Guide to Bridge Hydraulique* de l'ATC et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles.

### Avantages et utilisations des structures de décharge

- Une structure de décharge est avantageuse pour réduire les effets en amont d'un embâcle de glaces lorsque le débordement sur la route n'est pas réalisable.
- Sur les larges plaines inondables, particulièrement aux traversées excentriques ou en biais, un gradient hydraulique considérable le long de la face amont du remblai de la route peut survenir, nécessitant possiblement une structure de décharge pour réduire le plus possible le remous et les écoulements excessifs le long du remblai.
- Les structures de décharge sont plus sécuritaires pour les usagers de la route que le débordement sur la route lors des fortes crues.
- Les structures de décharge sont utiles pour compenser la perte des écoulements de décharge lorsque le profil d'approche est rehaussé, et pour augmenter le rendement hydraulique d'un pont principal jugé inadéquat.

### Désavantages des structures de décharge

- Leur capacité est limitée en comparaison avec les débordements au-dessus de la route.
- Leur coût est relativement élevé.
- Les ponts de décharge sont souvent sujets à des affouillements profonds, nécessitant une protection coûteuse pour les contrer.
- Les dommages aux structures lors des inondations coûtent beaucoup plus cher à réparer que les dommages aux routes, et nécessitent des fermetures de routes plus longues.
- Pour certaines configurations de canal, il peut y avoir tendance pour le canal principal à se déplacer vers la structure de décharge, spécialement lorsque la structure principale et la structure de décharge ont des dimensions similaires.

## **Lignes directrices pour les structures de décharge**

Les lignes directrices suivantes s'appliquent à la conception hydraulique de ponts ou d'autres structures de décharge qui peuvent transiter les eaux d'inondation sur une plaine inondable.

- Les structures de décharge à usage unique coûtent cher et doivent être installées seulement lorsqu'une solution moins coûteuse, telle qu'un débordement au-dessus de la route, n'est pas réalisable. Ces structures peuvent être justifiées dans les cas suivants :
  - lorsque le canal principal est bloqué par les glaces et que le débordement au-dessus de la route n'est pas réalisable;
  - à une traversée en biais;
  - sur une plaine inondable très large avec des écoulements potentiellement importants sur une grande distance le long du remblai de la route.
- La dimension d'une structure de décharge peut être une question de jugement lorsqu'elle ne peut pas être déterminée simplement par des considérations de remous. Si la structure est requise pour drainer les débordements causés par les embâcles de glaces, on peut se guider sur des structures de décharge existantes ailleurs, ou sur une estimation de l'écoulement que la structure aura à drainer.
- Les structures de décharge doivent être localisées sur les canaux principaux de débordement détectés sur les photographies aériennes et lors des inspections sur le terrain, ou d'après une opinion formée à partir des calculs hydrauliques. Les écoulements à la sortie ne doivent pas être dirigés vers des bâtisses avoisinantes et les structures doivent être localisées à l'endroit où elles ne seront probablement pas bloquées par les glaces.
- Comme les vitesses d'écoulement à travers une structure de décharge peuvent être très fortes durant les débordements causés par les embâcles de glaces, il faut prêter attention à la protection contre l'affouillement. Pour des petites structures et des ponceaux de drainage local, il est souvent avisé de placer un radier en béton avec des murs parafoilles en amont et en aval.

## **ÉTAPE 12 ÉVALUER LE POTENTIEL D'INONDATION EN AMONT**

Le potentiel d'inondation en amont est basé notamment sur les constatations de l'enquête sur le terrain, les cartes du risque d'inondation, les photographies aériennes et l'information fournie par les autorités en place. Il faut estimer approximativement si le remous de la traversée proposée peut affecter de façon significative, lors des crues normales de conception, les propriétés, les terrains développables, une route ou un chemin de fer situés en amont de la traversée.

### **ÉTAPE 13 PRÉPARER LE RAPPORT HYDRAULIQUE PRÉLIMINAIRE**

Une liste de contrôle pour le contenu du rapport préliminaire est présentée à l'annexe B. Le rapport est envoyé aux différents services concernés, par exemple ceux de la conception de la structure et de la géotechnique.

### **ÉTAPE 14 SOLLICITER LES COMMENTAIRES DES AUTRES INTERVENANTS**

Lorsque requis, il faut solliciter des commentaires sur les aspects majeurs de la conception hydraulique auprès des intervenants ayant juridiction sur la rivière. Avant d'accepter et de respecter les exigences des autres intervenants, il faut s'assurer que les coûts de réalisation sont justifiés par des avantages. Si les exigences apparaissent excessivement coûteuses, il faut examiner les solutions possibles et discuter de celles-ci avec les intervenants concernés.

## **2.2 CONCEPTION FINALE**

La conception hydraulique finale commence habituellement quelques semaines après la conception préliminaire, lorsque le rapport de l'étude géotechnique et les autres données sont disponibles.

### **ÉTAPE 15 ASSEMBLER ET EXAMINER LES DONNÉES FINALES**

#### **1) Assembler les nouvelles données**

Les données additionnelles disponibles depuis la phase préliminaire comprennent habituellement le rapport de l'étude géotechnique, les plans finals de la topographie du site et de la bathymétrie du cours d'eau, les profils, etc.

#### **1) Examiner le rapport de l'étude géotechnique**

- a) Examiner et résumer le rapport et les plans de l'étude géotechnique, spécialement les types de sol, leur vulnérabilité à l'affouillement, les facteurs conduisant au type et à la profondeur de la fondation, le pompage et tout autre problème, tels les glissements de terrain. Noter les trous de forage les plus critiques.
- b) Lister les recommandations sur les fondations, comme le type et la profondeur.
- c) Examiner les recommandations et les commentaires pertinents : par exemple, la profondeur recommandée pour une semelle superficielle sur un sable dense peut être adéquate pour la capacité portante, mais considérée comme non adéquate pour l'affouillement.
- d) Prendre en compte le besoin d'ajuster la localisation des piles et des culées pour refléter les conditions de sol favorables ou non favorables : par exemple, un léger déplacement placera une semelle sur le roc plutôt que sur le sable.

#### **1) Examiner les conditions spéciales du site**

Examiner et noter les conditions spéciales du site qui peuvent affecter les fondations, principalement celles influençant l'élévation ultime du lit du cours d'eau. Voir le point 2) de l'étape 1.

## ÉTAPE 16 CALCULER LE REMOUS

Le remous est l'exhaussement du niveau d'eau causé par une obstruction ou par un étranglement du cours d'eau. Nous vous référons à la section 4.3 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles.

Pour les ponts, les logiciels HEC-RAS du *US Army Corps of Engineers* et WSPRO du *US Department of Transportation, Federal Highway Administration* sont recommandés pour calculer le remous et réaliser l'analyse hydraulique des traversées de cours d'eau. Pour les ponceaux, les logiciels mentionnés ci-dessus peuvent également être utilisés. Cependant, nous recommandons plutôt des logiciels propres aux ponceaux, tels que les logiciels Ponceau du MTQ ou HY8 FHWA Culvert Analysis.

La séquence des calculs du remous est résumée de la façon suivante :

### 1) Déterminer le remous admissible

Le remous admissible est fonction du niveau d'eau admissible spécifié par les autorités ayant juridiction notamment le ministère de l'Environnement (voir l'étape 2), ou il peut être décidé par le concepteur (voir l'étape 12). Dans tous les cas, le remous admissible doit être justifié.

### 2) Données d'entrée

La liste suivante fournit seulement un aperçu des données requises pour utiliser les logiciels mentionnés ci-dessus; les détails sont fournis dans les manuels de l'utilisateur.

- a) **Données de contrôle du profil de l'eau** : cela inclut les débits à prendre en compte et la pente du cours d'eau pour calculer les élévations de la surface de l'eau.
- b) **Données des sections transversales** : plusieurs types de sections transversales sont requis, chaque section ayant sa propre localisation, géométrie, rugosité et autres données.
  - **Information première** : les types de sections transversales, par exemple les sections à l'approche, au pont et à la sortie, la distance entre les sections transversales et les autres paramètres.
  - **Géométrie de la section transversale** : coordonnées des points relevés de la section transversale.
  - **Rugosité** : valeur  $n$  pour chaque sous-division de la section transversale.

- **Distance d'écoulement** : distances entre les sections transversales, si ce n'est pas basé sur les informations premières.
- **Ouverture du pont** : coordonnées de la géométrie du pont.
- **Géométrie du mur guideau** : coordonnées de la géométrie du mur guideau.
- **Profil de la route** : la géométrie peut être définie en termes de coordonnées ou en termes de données de la courbe verticale.
- **Données des ponceaux de décharge** : cela inclut la géométrie du ponceau et les coefficients applicables.

### 3) Calculs du profil de la surface de l'eau

- a) **HEC-RAS et WSPRO** : les logiciels HEC-RAS et WSPRO peuvent calculer les élévations de la surface de l'eau contractée et non contractée pour une série de dimensions de pont. Les logiciels tiennent compte de la réduction du remous par un écoulement de décharge.
- b) **Vérifier le niveau des E.H.<sub>NC</sub>** : vérifier que l'élévation de la surface de l'eau non contractée concorde raisonnablement avec la valeur estimée lors de l'enquête sur le terrain. Si cela diffère de façon significative, vérifier les valeurs de  $n$  et la pente du cours d'eau, et ajuster s'il y a lieu. Répéter les calculs avec les nouvelles valeurs.
- c) **Évaluer la largeur requise du pont** : si la largeur de l'ouverture du pont pour satisfaire l'exigence du remous admissible paraît excessive, aller à 4) ci-dessous, sinon, aller à l'étape 17.

### 1) Vérifier la faisabilité d'augmenter l'écoulement de décharge

Si le profil d'approche peut être abaissé sous l'élévation choisie à l'étape 10, on l'abaisse le plus possible et on recalcule le remous. Si le profil ne peut pas être abaissé, aller à la séquence ci-dessous.

### 3) Considérer le rehaussement du soffite submergé

Si le tablier est assez submergé pour augmenter le remous de façon significative, considérer le rehaussement du profil de la route et du soffite, en ayant à l'esprit que dans quelques cas, le rehaussement du profil au pont peut réduire l'ampleur de l'écoulement de décharge au-dessus des approches. Si le soffite ne peut être rehaussé, aller à la séquence suivante.

## 0) Examiner la justification pour augmenter la largeur de l'ouverture du pont

Le coût pour augmenter les dimensions du pont ou pour fournir une structure de décharge doit être pleinement justifié par les avantages reçus. Si possible, une analyse coût/bénéfices doit être faite.

- Si le coût additionnel est justifié, accepter l'ouverture la plus grande, recalculer le remous et aller à l'étape 17.
- Si ce n'est pas justifié, considérer les solutions suivantes :
  - a) fournir un pont plus petit et évaluer les risques de réclamations sur dommages;
  - b) acheter la propriété affectée et construire un pont plus petit;
  - c) autres solutions : la sélection d'une solution acceptable peut être discutée avec les autorités ayant juridiction.

Si aucune solution acceptable ne peut être trouvée, adopter des dimensions plus grandes pour le pont et aller à l'étape 17.

## ÉTAPE 17 ESTIMER L'ÉLÉVATION DU LIT AFFOUILLE

Pour l'estimation de l'élévation du lit affouillé, se référer à la section 4.4 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC, à l'article 1.10.4 de la norme CAN/CSA-S6-00 du « Code canadien sur le calcul des ponts routiers », au manuel *Evaluating Scour at Bridges (HEC 18)*, FHWA, U.S. Department of Transportation et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles.

### 1) Estimer le débit pour les calculs de l'affouillement

Habituellement, le débit pour les calculs de l'affouillement est basé sur le débit de la crue normale de conception et sur celui de la crue de vérification. S'il y a un écoulement de décharge durant la crue, le débit est seulement l'écoulement passant à travers l'ouverture du pont.

### 1) Préparer la section transversale détaillée de la traversée

Sur la section transversale du site du pont, ajouter les informations suivantes si elles ne sont pas déjà montrées.

- a) Niveau des eaux du jour.

- a) Niveau des E.H. correspondant à  $Q_{NC}$  ou à  $Q_{EX}$  si requis. Aux endroits où le niveau des E.H. pour un débit donné peut varier, par exemple immédiatement en amont d'un lac, utiliser le plus bas niveau des E.H. probable qui coïncide avec le débit de conception comme cela est commenté à l'étape 4 paragraphe 2) et montré à la figure 2.1.
- b) Lit original du cours d'eau. Si la traversée est influencée par un pont existant, montrer le lit existant affouillé et le lit naturel estimé; ce dernier est estimé à partir du profil longitudinal du lit. Si possible, montrer aussi la limite d'un affouillement antérieur indiqué par un dépôt d'un matériau meuble dans une fosse d'affouillement. Noter sur la section transversale si le profil longitudinal varie beaucoup.
- c) Couches principales de sol et leurs élévations comme montré dans le rapport de l'étude géotechnique.
- d) Section transversale de l'ouverture du pont recommandée à la phase finale.
- e) Types de fondations et les élévations recommandées dans le rapport de l'étude géotechnique.

### **1) Déterminer l'affouillement général moyen**

Il est à noter que, si l'affouillement général à un pont est moindre que l'affouillement naturel, événement assez inhabituel, on travaille en fonction de ce dernier.

### **1) Estimer l'affouillement général maximal**

Tenir compte, lorsque c'est approprié, de l'augmentation de l'affouillement causée par un blocage partiel du pont par des embâcles de glaces ou de débris. L'application d'un facteur déterminé par jugement, par exemple 1.25, est recommandée, selon la sévérité de l'embâcle.

### **1) Calculer l'affouillement local**

Additionner l'affouillement local aux piles ou aux culées à l'affouillement général maximal (ou affouillement naturel) à ces points sur la section transversale dessinée en 2).

Si possible, estimer à partir de l'affouillement local observé aux ponts existants ayant des caractéristiques hydrauliques et des sols similaires.

## 1) Estimer l'élévation du lit affouillé

- a) À partir de la section transversale, relever les élévations du lit affouillé aux piles, aux culées et aux pieds des remblais pour les culées avec un remblai. Ces élévations sont celles sur lesquelles la protection contre l'affouillement est basée. Si le cours d'eau est sujet à la dégradation ou au creusement artificiel, voir la séquence 7) ci-dessous.
- a) Comparer les affouillements estimés avec ceux des ponts existants établis depuis longtemps et ayant des conditions similaires. S'il y a de grandes divergences, essayer d'en découvrir la raison. Ce peut être, entre autres, la protection du lit, des sols différents ou un écoulement de décharge.

## 1) Ajuster l'élévation du lit affouillé avec la dégradation et le creusement artificiel

- a) Dégradation : baser l'élévation finale du lit sur la profondeur prévue de dégradation plus la moitié de la profondeur estimée de l'affouillement.
- b) Creusement artificiel : baser l'élévation finale du lit sur la profondeur de creusement prévue plus la profondeur estimée de l'affouillement.

## 1) Estimer l'élévation du lit affouillé à une structure de décharge

Répéter les séquences 1) à 7) pour les structures de décharge en utilisant le débit estimé passant à travers ces structures. Ce débit peut être calculé en utilisant les logiciels HEC-RAS et WSPRO. Noter que l'affouillement à une structure de décharge est parfois plus sévère qu'à une structure principale.

## ÉTAPE 18 CHOISIR LA PROTECTION STRUCTURALE CONTRE L'AFFOUILLEMENT

Après avoir estimé à chaque pile et à chaque culée l'élévation future du lit affouillé, on peut choisir les mesures de protection adéquates. Il est important de noter que les différences de coûts afin de fournir une protection pour de rares événements sont faibles si on les compare aux conséquences de l'effondrement d'un pont. De plus, les dommages non structuraux aux ponts et aux éléments de la routes, par exemple l'enrochement et les approches, qui surviennent lors de rares événements, peuvent habituellement être réparés, et la circulation routière, rétablie plus rapidement pourvu que la structure elle-même ne soit pas endommagée. Il est donc avantageux de choisir pour la protection contre l'affouillement une période de retour plus grande que celle utilisée pour la conception de l'ouverture du pont.

Pour nos besoins, la protection contre l'affouillement est divisée en deux classes : structurale et non structurale. Les mesures structurales sont définies comme les mesures qui sont rattachées à la structure, par exemple les pieux, les palplanches et une profondeur appropriée des fondations. Par contre, les mesures non structurales comprennent les revêtements sur les remblais d'approche aux culées, les tapis d'enrochement autour des infrastructures, les pavages des ouvertures de pont et les murs guideaux.

Lors de la conception de ponts ayant une durée de vie de 50 ans ou plus, l'utilisation de mesures non structurales pour compenser des mesures structurales inadéquates n'est pas recommandée. On ne doit pas lésiner sur les fondations de la structure; d'autres avenues doivent être envisagées dans une recherche d'économie. Les mesures non structurales sont plutôt utilisées pour contrôler des dommages moins sérieux, pour corriger des défauts existants et pour réduire les coûts de fondation pour des ponts moins importants.

### **Facteur de sécurité pour la protection contre l'affouillement**

Les incertitudes inhérentes à la conception hydraulique des ponts font qu'il est souhaitable d'incorporer un facteur de sécurité dans la protection contre l'affouillement. Le choix du facteur de sécurité approprié se fait en tenant compte des considérations suivantes :

- le type de fondation, par exemple l'utilisation de semelles superficielles par rapport à l'utilisation de pieux;
- l'ampleur de la crue de conception choisie pour la conception de la protection contre l'affouillement;
- la précision de l'estimation du débit;
- la probabilité de dépassement du débit choisi;
- l'incertitude de l'affouillement estimé;
- la possibilité d'événements imprévus, tels que des ruptures de barrages, des obstructions par des glaces ou des débris, des conditions de sol non anticipées;
- la dimension et le type de structure;
- la possibilité d'un écoulement de décharge;
- la classification de la route, par exemple une route nationale par rapport à une route locale;

- la gravité des conséquences de l'effondrement partiel ou complet du pont, par exemple les risques de mortalité et les coûts de remplacement;
- le coût d'une protection additionnelle contre l'affouillement;
- l'expérience des ponts existants, y inclus les protections spéciales;
- l'absence de routes de contournement.

### **Mesures de protection structurale**

Les principaux types de protection structurale contre l'affouillement sont les suivants :

- le positionnement de la semelle superficielle à une profondeur sécuritaire;
- les pieux de support;
- les caissons;
- les palplanches.

Le type de protection approprié pour un site donné dépend en grande partie des résultats de l'étude géotechnique. Ces derniers doivent être soigneusement examinés et les recommandations utilisées comme base initiale pour la protection contre l'affouillement. Si nécessaire, les recommandations des fondations doivent être modifiées pour satisfaire les exigences de l'affouillement. Par exemple, le rapport de l'étude géotechnique peut recommander des semelles superficielles à une élévation moins profonde que l'affouillement estimé; dans un tel cas, les exigences de l'affouillement priment sur celles du rapport de l'étude géotechnique. De façon similaire, si les sols sont considérés comme adéquats pour des semelles superficielles, mais extrêmement sensibles à l'affouillement, les calculs de l'affouillement peuvent indiquer le besoin d'utiliser des pieux ou des palplanches.

Le type et la profondeur de la protection structurale contre l'affouillement dépendent des profondeurs estimées de l'affouillement et des recommandations du rapport géotechnique. À certaines traversées, le choix de la protection est très clair, mais à d'autres, il peut y avoir des possibilités différentes à présenter au concepteur de la structure pour qu'il puisse choisir la solution la plus avantageuse.

Pour les mesures de protection structurale, se référer à la section 5.2 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles :

### 1) Semelles superficielles

- a) Déterminer une profondeur provisoire de la semelle en utilisant les lignes directrices de l'article 1.10.5.2.1 du Code canadien sur le calcul des ponts routiers et de la sous-section 2.1.3.2 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art, des normes du MTQ.
- a) Si la profondeur de la semelle implique un coût excessif ou est difficilement réalisable, considérer les solutions du type pieux, caissons ou palplanches commentées ci-dessous. Si aucune de celles-ci n'est acceptable, choisir une plus grande largeur de l'ouverture du pont et retourner à l'étape 17.

### 1) Pieux

Bien que les ponts construits sur des pieux en acier, bois, béton ou autres ne soient pas totalement invulnérables à l'affouillement, ils peuvent habituellement fournir une assurance raisonnable que la structure survivra à plusieurs crues même si le remblai a été entraîné. L'utilisation de pieux comme forme de protection contre l'affouillement est recommandée aux endroits où le matériau du lit est de sable, de limon, de gravier fin ou d'autres sols très sensibles à l'affouillement, même si la capacité portante du sol est bonne. Les pieux sont fortement recommandés pour les structures importantes ou très coûteuses et lorsqu'il y a un doute sur la sécurité des fondations qui seront exposées à l'affouillement. La norme du Ministère stipule que les fondations d'une pile qui se situe dans le lit mineur d'un cours d'eau doivent être sur pieux ou sur roc.

L'utilisation de pieux pour les fondations donne deux autres avantages. Premièrement, le risque moindre d'un effondrement par l'affouillement permet une réduction de la travée par rapport à celle qui est requise en présence de semelles superficielles. Deuxièmement, à certains sites, les semelles peu profondes peuvent réduire grandement le coût de pompage.

Bien que les culées sur pieux soient habituellement sécuritaires même lorsqu'elles sont partiellement minées, le remblai derrière les culées doit être conçu de façon à empêcher son lessivage et à ne pas causer de vides dans la route. Le remblai doit donc être protégé notamment au moyen d'enrochements, de gabions ou de palplanches.

Les piles peuvent être constituées de fûts ou de colonnes en béton sur semelles supportées par des pieux et dans certains cas, les pieux peuvent être prolongés jusqu'à un chapiteau qui supporte le tablier du pont. Les coûts des fondations peuvent être réduits en plaçant la semelle de la pile sur pieux au niveau de l'affouillement général anticipé et en empêchant l'affouillement local par un tapis d'enrochement. Le minage des semelles sur pieux ne présente pas de risque important si les pieux sont conçus adéquatement.

### 3) Caissons

Un caisson est une enceinte permanente enfoncée dans le sol par son propre poids ou un poids additionnel et remplie ensuite par un matériau tel que le sable, le gravier ou le béton. Les caissons sont généralement utilisés pour des ponts importants avec des eaux très profondes ou quand les conditions de sol et de pompage sont très difficiles. Bien que leur largeur considérable tende à augmenter l'affouillement général et local, ils sont généralement sécuritaires même avec des affouillements très profonds.

### 4) Palplanches

Les palplanches en acier ou en bois sont utilisées dans des cas spéciaux pour prévenir ou corriger le minage des fondations de pont.

Les applications typiques des palplanches à des fins hydrauliques sont les suivantes :

- protection contre l'affouillement autour de nouvelles piles et culées;
- travaux correcteurs pour rectifier des problèmes d'affouillement aux infrastructures existantes;
- caissons en palplanches;
- protection contre l'affouillement pour les murs en aile et les murs de soutènement;
- murs parafoilles pour les radiers pavés, spécialement sur les cours d'eau dégradés.

Les palplanches sont relativement coûteuses; pour cette raison, elles doivent être utilisées seulement lorsqu'il n'y a pas une autre solution plus acceptable et plus économique. Pour le pompage à l'intérieur d'un batardeau, on doit prendre en considération les avantages de les laisser en place pour servir de protection contre l'affouillement.

**Lignes directrices pour la protection contre l'affouillement avec palplanches**

- La partie supérieure d'un mur de palplanches doit toujours être ancrée adéquatement pour prévenir les renversements, surtout lorsqu'il est probable que le matériau en face du mur soit enlevé par un affouillement ou une dégradation. Lorsque c'est possible, les palplanches autour des piles et des culées doivent être fixées aux semelles.
- La pénétration et la résistance structurale des palplanches doivent être suffisantes pour résister à un affouillement du lit naturel égal à au moins 1,5 fois la profondeur estimée de l'affouillement, de la dégradation, etc.
- L'obstruction à l'écoulement par des batardeaux en palplanches doit être réduite au maximum en utilisant la plus petite largeur possible. Après l'enfoncement, les palplanches doivent être coupées légèrement au-dessus du niveau du haut de la semelle pour réduire l'effet du vortex et l'affouillement local. L'apparence des infrastructures doit aussi être considérée.

## **ÉTAPE 19 ÉVALUER LA PROTECTION CONTRE L'AFFOUILLEMENT POUR LA CRUE DE VÉRIFICATION**

Une crue de vérification ( $Q_V$ ) doit être utilisée pour réduire le risque qu'un pont s'effondre durant un événement plus important que la crue normale de conception. Cette étape s'applique plus particulièrement aux ponts présentant une ouverture importante ou une forte circulation routière qui demandent un plus haut niveau de sécurité.

Nous recommandons de sélectionner comme crue de vérification la crue correspondant à une période de récurrence de 500 ans. En l'absence d'une estimation précise de cette valeur, un débit égal à 1,7 fois le débit normal de conception est suggéré.

- 2) Calculer  $Q_V = Q_{500}$  (ou  $1,7 \times Q_{NC}$ ) et le niveau des E.H.<sub>V</sub> estimé correspondant.
- 3) Estimer l'élévation du lit affouillé pour  $Q_V$  à chaque pile et à chaque culée, comme à l'étape 17.
- 3) Vérifier si la stabilité des piles et des culées peut être mise en danger.
  - Si c'est le cas, considérer l'amélioration de la protection contre l'affouillement (voir l'étape 18).
  - Si le coût d'une protection supérieure est excessif, considérer, soit d'augmenter l'ouverture du pont, soit d'accepter le risque accru d'un bris à la structure. Réaliser une analyse coût/bénéfices plus détaillée si cela est justifié.

## **ÉTAPE 20 FINALISER LA CONCEPTION HYDRAULIQUE**

- 1) Vérifier la cohérence de l'ouverture du pont avec les autres ponts avoisinants, en tenant compte, entre autres, des différences dans l'ampleur de la crue de conception, des conditions du site et de l'écoulement de décharge.
- 2) Réaliser une analyse économique si cela est justifié, par exemple, si le pont proposé est beaucoup plus long que les ponts existants, ou pour choisir la combinaison la plus économique entre la protection contre l'affouillement et la longueur du pont. La dernière analyse doit être faite par le concepteur de la structure.
- 3) Vérifier que les conditions spéciales du site listées à l'étape 1 paragraphe 2) ont été entièrement considérées.

## **ÉTAPE 21 DÉTERMINER LA PROTECTION NON STRUCTURALE**

La protection non structurale pour les ponts est un complément à la protection structurale et normalement elle ne doit pas être considérée comme sa remplaçante. Ce type de protection est généralement moins permanent que le type structural, puisqu'il est plus vulnérable aux perturbations, à la détérioration ou même à l'effondrement durant la vie utile de la structure.

Les mesures non structurales courantes sont les suivantes :

- protection des remblais d'approche aux culées;
- tapis d'enrochement autour des infrastructures;
- mur guideau.

Il faut s'assurer que les mesures de protection contre l'affouillement ne réduisent pas d'une façon significative l'aire de l'ouverture du pont. En particulier, le dessus de la surface de la protection du lit du cours d'eau doit être placé sous l'élévation du lit naturel non affouillé pour compenser partiellement l'incapacité de l'aire de l'ouverture à s'élargir lors d'un affouillement.

Les vitesses d'écoulement les plus fortes lors des crues demandent une forme de protection pour prévenir le minage. Cette protection doit être suffisante pour empêcher l'affouillement d'un remblai pouvant mettre en cause sa stabilité, surtout lorsque le sol est potentiellement instable.

## 1) Protection du remblai d'approche aux culées

Se référer au chapitre 5 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC, aux sections 2.17.2.1 et 2.17.2.2 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art, des normes du MTQ et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles.

Les rivières avec un remblai traversant une large plaine inondable peuvent présenter des problèmes en raison de l'affouillement local au pied du remblai d'approche aux culées et du chevauchement de cet affouillement local avec l'affouillement de la pile adjacente. La figure 2.3 à l'annexe A illustre cette situation. Pour prévenir la perte du remblai et la possibilité du minage de la culée, certaines formes de protections de talus sont requises. La protection au pied du talus est également recommandée sur des lits érosifs pour prévenir le minage du remblai et les dégâts au talus. La protection flexible des talus est très utilisée, mais la protection rigide peut être justifiée aux endroits où l'enrochement requis n'est pas facilement disponible.

En général, les écoulements importants le long des remblais d'approche doivent être détournés en laissant le plus de végétation possible près de la route, en évitant la construction de larges fossés du côté amont et l'excavation de bancs d'emprunt à cet endroit.

### a) Protection flexible

La protection flexible présente de nombreux avantages qui expliquent sa large utilisation. L'enrochement est le plus utilisé, mais il y a également plusieurs autres types de protections. La figure 2.4 à l'annexe A illustre les protections flexibles typiques de talus. Se référer à la section 5.3 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC.

Le pied est normalement la partie la plus vulnérable de la protection d'un talus. Les méthodes pour protéger le pied d'un talus sont les suivantes :

- installer un tapis flexible, seulement pour les sols non cohérents;
- prolonger la protection du talus sous le niveau prévu de l'affouillement;
- installer un mur para fouille en gabions, en palplanches ou en béton.

Les tapis flexibles partent du principe que, lorsque l'affouillement progresse, la protection s'ajuste vers le bas sur une pente de 1V:1.5H à 2H en remplissant la fosse, prévenant ainsi le minage du remblai d'approche aux culées. Les fosses d'affouillement, dans des sols cohérents, tendent à avoir des pentes abruptes en raison du glissement du matériau et, dans ces circonstances, les tapis flexibles ne sont pas efficaces.

Pour les ponts avec une ouverture étroite, il est parfois plus sécuritaire et plus économique de prolonger la protection au-delà du pied du talus pour fournir une ouverture complètement protégée.

## Lignes directrices pour la protection flexible

### i) Empierrement

- Dimension

Même si le *Guide to Bridge Hydraulics* spécifie que la formule de l'équation 5.2 (1991) du *U.S. Army Corps of Engineers* devrait être préférée à la courbe de la figure 5.13 provenant du *Guide to Bridge Hydraulics* de 1973, nous utilisons cette dernière au MTQ pour établir la dimension de l'empierrement. Par conséquent, le diamètre médian ( $D_{50}$ ) de la pierre requise pour une vitesse donnée est déterminé à l'aide de la figure 5.13 que l'on trouve également à la figure 8.4.1f du chapitre 8 du Manuel de conception des ponceaux du MTQ. Lorsque cela est possible, les résultats doivent par la suite être confrontés à des installations qui ont donné un bon rendement dans des sites comparables sur le même cours d'eau.

À la section 2.17.2.2 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art, des normes du MTQ, il est mentionné que la protection du talus des culées (dessin normalisé 013) comprend généralement un revêtement en pierres de calibre 300-500 mm avec un  $D_{50}$  de 400 mm, et que ce revêtement est valable pour des vitesses d'écoulement égales ou inférieures à 3,4 m/s. La norme du MTQ stipule un calibre 300-500 mm même si les vitesses sont inférieures à 3,4 m/s, et cela pour compenser en partie le fait que nous projetons une pente des talus de 1V:1,5H pour l'avant des culées et les cônes alors que les résultats de la figure 5.13 considèrent une pente de talus de 1V:2H et aussi, dans une certaine mesure, pour tenir compte de l'effet des glaces sur l'enrochement exposé. Cependant, chaque projet doit faire l'objet d'une analyse, et rien n'empêche l'utilisation d'un calibre inférieur ou supérieur si celui-ci est jugé nécessaire.

Les dimensions de la pierre pour la protection du remblai d'approche aux culées doivent être basées sur la vitesse moyenne du débit centennal à travers l'ouverture du pont. Dans les cas d'une culée située à l'extérieur d'une courbe sévère du cours d'eau, la vitesse doit être majorée d'un coefficient de 4/3.

Le principe de base est que 50 % du matériau doit être plus grand que le  $D_{50}$  et 50 % plus petit. L'empierrement surdimensionné doit être évité.

- **Épaisseur**

2 fois le diamètre médian ( $D_{50}$ )

- **Pente**

préférable 1V:2H  
maximum 1V:1.5H

- **Hauteur**

0,3 mètre minimum au-dessus du niveau des E.H. centennales

- **Protection au pied**

Matériau du lit non cohérent

Prévoir un tapis au pied du talus, un pied en tranchée ou une prolongation de la protection sous le niveau prévu de l'affouillement ou jusqu'au niveau du matériau non érosif. La figure 2.4 a) et b) à l'annexe A illustre ces deux protections.

Matériau du lit cohérent

Prolonger la protection sous le niveau prévu de l'affouillement ou jusqu'au niveau du matériau non érosif. La figure 2.4 b) à l'annexe A illustre cette protection. Si ce n'est pas réalisable, il faut considérer une augmentation de la largeur de l'ouverture.

- **Filtre de support**

Les filtres sont nécessaires sous la pierre de protection lorsque le matériau constituant la berge est fin, tels le sable et le limon, et par conséquent, sujet à être entraîné à travers la pierre de protection. Les deux filtres couramment utilisés sont les filtres granulaires et les membranes géotextiles.

- **Réduction de l'ouverture**

La protection du talus et du pied ne doit pas réduire de façon significative l'aire de l'ouverture. Pour éviter un empiétement de la protection dans l'aire de l'ouverture, deux options sont possibles, soit augmenter la largeur de l'ouverture ou allonger les murs en retour des culées.

- **Étendue de la protection du talus du remblai d'approche aux culées**

La protection doit couvrir l'avant de la culée et les coins avec un angle de 90°. S'il y a lieu, la protection doit se prolonger sur les remblais latéraux de la route jusqu'à une distance où le dessus de la protection rejoint le terrain naturel. Le dessin normalisé 013 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art, des normes du MTQ illustre l'étendue de la protection. Il est à remarquer qu'une protection contre les eaux de ruissellement, à partir du dessus de cette protection jusqu'au sommet du remblai, doit couvrir l'avant de la culée, les coins et les remblais latéraux jusqu'à 1 m au-delà de l'extrémité des murs en retour. Cette dernière protection peut être un empierrement moins grossier, un engazonnement, etc.

- ii) **Gabions**

Se référer à la sous-section 5.3.2 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC.

- b) **Protection rigide**

Se référer à la section 5.3 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC et aux instructions suivantes pour des détails additionnels.

La protection des talus en béton armé est parfois utilisée lorsque la pierre requise n'est pas disponible, ou lorsqu'on prévoit de très fortes vitesses. La protection des talus en béton peut s'effondrer en raison du minage ou du tassement inégal du sol sous-jacent, à moins que la protection du pied soit conçue et construite de façon adéquate.

## 2) **Tapis autour des piles**

Se référer à la section 5.2.3 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC, à la section 2.1.3.2 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art, des normes du MTQ et aux instructions suivantes pour des informations additionnelles.

Des tapis en empierrement sont parfois utilisés pour contrôler l'affouillement aux piles sur pieux. Ils sont plus efficaces dans des sols non cohérents. Les quantités excessives d'empierrement peuvent augmenter l'affouillement local et, dans des cas extrêmes, aggraver l'affouillement général et le remous en restreignant l'ouverture du pont.

Lorsque la profondeur des semelles superficielles est limitée par des problèmes de pompage durant de la construction et que les pieux sont une solution trop coûteuse, les tapis peuvent, pour des ponts de moindre importance supportés par des sols sablonneux ou graveleux, fournir des solutions économiques de protection contre l'affouillement. Ces protections doivent être inspectées pendant la vie utile de la structure et réparées au besoin.

### **Lignes directrices**

- Prendre soin que la protection placée autour des infrastructures n'augmente pas le remous ou l'affouillement en réduisant l'aire de l'ouverture. Le déversement d'une quantité excessive de pierres est une pratique courante qui doit être évitée. Le dessus de la surface du tapis doit préférablement être placé au niveau prévu de l'affouillement général ou sous celui-ci. Lorsque cela n'est pas réalisable, il doit être placé au même niveau que le lit naturel du cours d'eau.
- Les tapis autour des piles doivent être projetés à au moins 1,5 fois la largeur maximale de la pile ou des semelles exposées à l'écoulement. Cette projection peut être réduite du côté aval des extrémités.
- Les dimensions de la pierre pour les tapis doivent être basées sur une vitesse variant de 1,5 fois à 2 fois la vitesse moyenne du débit centennal à travers l'ouverture du pont. Dans le cas où la pile est positionnée dans un courant secondaire important, il faut évaluer la vitesse de ce courant avant d'appliquer le facteur de majoration. Les dimensions de la pierre sont choisies à partir de la figure 5.13 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC ou de la figure 8.4.1f du chapitre 8 du Manuel de conception des ponceaux du MTQ.
- L'épaisseur du tapis en empièchement doit être 2 fois la dimension médiane  $D_{50}$  de la pierre.
- Lorsque requis, un filtre granulaire ou géotextile doit être utilisé.

### **3) Mur guideau**

Un mur guideau est un remblai relativement court construit plus ou moins parallèle au lit du cours d'eau, se prolongeant vers l'amont à partir du remblai d'approche de la culée du pont. Se référer à la section 5.5.1 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC.

Le mur guideau est utilisé principalement pour orienter vers le pont les écoulements d'une large plaine inondable et distribuer l'écoulement à travers le pont de la façon la plus uniforme possible. Les grands débordements d'une plaine inondable rejoignent l'écoulement du canal principal avec un angle, concentrant l'écoulement à la culée et à la pile adjacente et créant ainsi une forte turbulence. Le résultat est une augmentation de l'affouillement local et des dommages possibles au talus du remblai d'approche de la culée et également à la pile adjacente. La figure 2.5 à l'annexe A illustre cette situation. La construction d'un mur guideau déplace le point de convergence des deux écoulements vers l'extrémité amont du mur guideau, améliorant ainsi la distribution de l'écoulement dans l'ouverture du pont et réduisant l'affouillement local à la culée et à la pile adjacente.

Par contre, la construction d'un mur guideau peut être coûteuse. Pour cette raison, avant d'envisager cette solution, on doit considérer soigneusement la possibilité d'une fondation plus profonde et plus sécuritaire et une meilleure protection pour le talus du remblai d'approche à la culée.

### **Lignes directrices**

- L'utilisation d'un mur guideau peut être considérée lorsqu'on prévoit des écoulements très importants parallèles à la route. Les coûts de construction et d'entretien d'un mur guideau à long terme doivent être comparés aux coûts de construction et d'entretien d'une protection adéquate pour les culées, les talus des remblais d'approche et les piles adjacentes.
- Normalement, un seul mur guideau est nécessaire. Il faut que les écoulements soient très importants sur les deux côtés de la plaine inondable pour que deux murs guideaux soient requis.
- La longueur, la forme et la hauteur d'un mur guideau sont estimées en utilisant la méthode recommandée à la section 5.5.1 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC.
- L'empierrement, ou toute autre protection, doit être conçu comme décrit à la sous-section 1) ci-dessus.
- La construction de canaux, de fossés ou de bancs d'emprunt est à éviter sur les côtés amont des remblais, puisqu'elle encourage des écoulements parallèles importants, mettant ainsi en danger les murs guideaux.
- Les arbres et la végétation doivent être conservés ou plantés près du pied du mur guideau pour ralentir l'écoulement.

- Le drainage local à l'arrière du mur guideau peut nécessiter la construction d'un petit ponceau à travers le remblai.
- La largeur du sommet doit être suffisante pour permettre la circulation des véhicules d'entretien.
- Les effets possibles du mur guideau sur la rivière en amont, ainsi qu'en aval, doivent être étudiés.

#### **4) Protection des approches de pont**

La plupart des problèmes d'érosion aux approches de pont sont causés par le débordement au-dessus de la route. Les problèmes moins fréquents résultent des écoulements parallèles à la route ou de l'action des vagues.

##### **a) Érosion de débordement**

L'érosion des remblais d'approche par l'écoulement au-dessus de la route peut varier de l'érosion de l'accotement jusqu'à l'effondrement complet du remblai. L'amplitude des dommages dépend en partie du pavage ou du non-pavage de la route.

Les routes pavées ont habituellement une haute résistance à l'érosion de débordement et s'effondrent seulement si la durée de la crue est assez longue pour que l'écoulement puisse miner la fondation et entraîner la largeur complète de la route.

Les dommages causés par les débordements sont naturellement plus fréquents sur les routes secondaires, lesquelles sont normalement en gravier et construites selon des standards moins élevés.

De façon générale, il ne coûte pas cher de protéger efficacement les talus de remblai contre l'érosion de débordement par un engazonnement. Une protection spéciale peut être justifiée lorsque l'inondation de la route se produit presque chaque année.

## **b) Soulèvement du pavage**

Dans certaines conditions, le soulèvement causé par la pression hydrostatique sous une surface imperméable peut endommager sévèrement le pavage. Le soulèvement du pavage peut survenir même lorsque le différentiel des niveaux d'eau est relativement petit et que l'érosion des accotements est mineure. Aux endroits où la route d'approche est conçue pour être débordée fréquemment, le côté amont du pavage doit continuer vers le bas sous la forme d'un mur d'arrêt pour empêcher l'écoulement d'entrer dans la couche granulaire.

## **c) Érosion par écoulement parallèle**

L'érosion des remblais d'approche par les écoulements parallèles à la route, dans les plaines inondables, est rarement un problème et l'engazonnement, ou tout autre couvert végétal, est généralement suffisant pour la prévenir.

## **d) Érosion par la vague**

Les remblais d'approche adjacents aux littoraux ou aux traversées de lacs ou d'estuaires sont fréquemment sujets à l'érosion causée par l'action des vagues. Une protection contre ce type de problème est absolument nécessaire.

## **5) Protection des berges**

Il est souvent nécessaire de stabiliser ou de modifier l'alignement du canal à la traversée d'un cours d'eau ou près de celle-ci pour une ou plusieurs des raisons suivantes :

- prévenir l'érosion des berges en amont du pont;
- protéger les berges en aval contre les effets de l'augmentation des vitesses à travers le pont, principalement lorsque des bâtiments peuvent être en danger;
- prévenir le déplacement du canal qui aurait pour effet d'empiéter sur la route d'approche;
- protéger les points vulnérables sur un détournement de cours d'eau;
- corriger les défauts de la conception originale de la traversée.

## ÉTAPE 22 DÉTERMINER LES CHARGES DUES À LA GLACE

Les forces exercées par les glaces sur les appuis de pont doivent être déterminées. Se référer à l'article 3.12 de la norme CAN/CSA-S6-00 « Code canadien sur le calcul des ponts routiers » et aux instructions additionnelles suivantes :

Le cas de chargement à considérer quant à l'impact des glaces sur les piles en rivière doit, dans les cas usuels, être le pire des deux cas suivants :

- La poussée engendrée par un couvert de glace d'une épaisseur correspondant à une période de récurrence de 100 ans et s'exerçant à la cote atteinte pour un débit correspondant à 50 % de la crue moyenne annuelle.
- La poussée engendrée par un couvert de glace d'une épaisseur correspondant à une période de récurrence annuelle et s'exerçant à la cote atteinte par la crue moyenne annuelle.

L'épaisseur, la résistance et le point d'application du couvert de glace aux fins de conception des piles doivent être connus pour déterminer les forces exercées par les glaces. L'épaisseur de glace à considérer est en millimètres (mm), l'élévation du point d'application de la force est en mètres (m) et la résistance effective de la glace en kilopascals (kPa).

- Notes :
- Le niveau d'eau doit être estimé en tenant compte de la présence d'un couvert de glace.
  - Le point d'application des forces dynamiques se situe au tiers supérieur de l'épaisseur de la glace.

## ÉTAPE 23 CONCEVOIR LES TRAVAUX AUXILIAIRES

### 1) Réalignement ou détournement de cours d'eau

Se référer à la section 5.5.4 du *Guide to Bridge Hydraulics* de l'ATC et aux instructions suivantes pour des détails additionnels.

Les réalignements ou détournements de cours d'eau sont non désirables du point de vue environnemental et doivent être évités à moins qu'ils procurent des avantages de très grande importance. Le besoin d'un réalignement ou d'un détournement de cours d'eau et sa localisation possible doivent être considérés dès l'enquête sur le terrain. Une configuration provisoire doit être notée sur le formulaire d'enquête. Ce tracé pourra être vérifié au bureau à l'aide de photographies aériennes et examiné avec les différents intervenants.

En considérant qu'il n'y a pas de solution de rechange raisonnable, telle que la relocalisation d'une route, un réalignement ou un détournement permanent d'un cours d'eau peut être justifié dans les cas suivants :

- pour réduire un angle de biais excessif ( $> 45^{\circ}$ ), lequel est structurellement et économiquement indésirable;
- pour éliminer ou réduire un empiètement de remblai excessif dans le canal du cours d'eau. Cela peut se produire à des traversées en biais avec de hauts remblais ou lorsqu'un canal longe une route;
- pour éliminer un sérieux problème d'érosion de la route ou des propriétés en aval. La figure 2.6 a), à l'annexe A, illustre cette situation;
- pour réduire le nombre de traversées d'un cours d'eau en méandres s'écoulant parallèlement à la route. La figure 2.6 b), à l'annexe A, illustre cette situation. Dans un tel cas, les droits des propriétaires riverains doivent être considérés;
- pour réduire le nombre ou la longueur des traversées à un système d'échangeur complexe sur le réseau routier;
- en de rares occasions, pour réduire le niveau des E.H. à une traversée ou en amont de celle-ci;
- pour éliminer le besoin de deux ponts lorsqu'un cours d'eau tributaire traverse la route pour rejoindre le cours d'eau principal à une courte distance en aval. La figure 2.6 c), à l'annexe A, illustre cette situation.

Bien que certains réalignements ou détournements de cours d'eau ne causent pas de dommages environnementaux permanents ou du moins avec un faible degré de sévérité, d'autres peuvent parfois avoir des conséquences néfastes.

- Les détournements le long des remblais en amont des routes peuvent créer des concentrations d'écoulements défavorables.
- La dégradation du lit et l'affaissement des berges en amont.
- La sédimentation du lit et le déplacement du canal en aval.
- Des dommages aux habitats en aval causés par la sédimentation de frayères et d'aires d'alevinage.
- La possibilité d'embâcles de glaces plus sévères en raison de l'élimination des courbes du cours d'eau et de la végétation.

## **Lignes directrices pour la conception de réalignements ou de détournements permanents**

- L'alignement du réalignement ou du détournement doit être raisonnablement compatible avec le comportement naturel de l'écoulement en crue.
- Le raccourcissement d'un canal naturel doit être aussi minime que possible.
- Le caractère naturel du cours d'eau et ses environs doivent être autant que possible préservés.
- La relation niveau-débit pour le nouveau canal et les plaines inondables doit être similaire à celle existant dans des conditions naturelles.
- Si nécessaire, les vitesses d'écoulement dans le canal et à proximité doivent être limitées à la vitesse admissible du lit et des berges naturels par des barrages de contrôle ou d'autres moyens; sinon, des mesures de contrôle d'érosion doivent être prises aux endroits critiques.
- Les calculs hydrauliques et les contrôles d'érosion, temporaires et permanents, doivent tenir compte des coefficients de rugosité applicables aux conditions immédiatement après la construction ainsi qu'après la végétalisation et la stabilisation du canal.
- Les pentes des berges doivent être appropriées aux matériaux utilisés et aux conditions d'écoulement.
- Des mesures spéciales doivent être prises pour l'habitat du poisson sur des cours d'eau en gravier et autres contenant des ressources de poissons de grande valeur.
- Les extrémités d'un détournement doivent être alignées de façon à ne pas affecter le canal en amont ou en aval, et les propriétés avoisinantes.
- La construction doit être prévue de façon à éviter les périodes de frai.
- Le rayon des courbes doit se rapprocher de celui du canal original.
- La possibilité d'un écoulement non uniforme dans un détournement très court pourrait être considérée.
- Les coupures de méandres sont autant que possible à éviter. Ces coupures peuvent provoquer de sérieux problèmes environnementaux résultant de l'érosion et de la sédimentation.

## **2) Drainage local des plaines inondables**

Bien que le drainage des dépressions locales dans les plaines inondables soit habituellement réalisé par des fossés ou des ponceaux, le contexte de l'ensemble de la traversée doit être considéré. Les points suivants doivent être pris en compte :

- Un fossé construit le long d'un remblai de route du côté amont peut causer une concentration d'écoulement défavorable. Des ravinements peuvent se produire si la pente est trop forte, et les sédiments qui en résultent peuvent former un delta dans le cours d'eau principal et causer par la suite un déplacement du canal.
- Un ponceau installé pour le drainage local peut subir de très fortes vitesses. Il doit être préférablement du type à contour fermé.
- Les petits ponceaux installés uniquement pour drainer les dépressions locales sur les plaines inondables ne doivent pas être pris en compte pour l'évaluation de l'écoulement de décharge à cause de leur très faible capacité en comparaison avec l'écoulement total.

## **3) Drainage de tablier de pont**

Se référer au chapitre 2 du Manuel de conception des structures, Volume 1, du MTQ.

### **ÉTAPE 24 PRÉPARER LE RAPPORT ET LES RECOMMANDATIONS FINALES**

Une liste de vérification pour le contenu du rapport final est présentée à l'annexe B.

### **ÉTAPE 25 SOLLICITER LES COMMENTAIRES DES AUTRES INTERVENANTS**

Si la conception a été réellement modifiée depuis la proposition préliminaire de l'étape 14, la soumettre à nouveau aux intervenants concernés pour commentaires ou approbation.

### **ÉTAPE 26 EXAMINER LES PLANS PRÉLIMINAIRES DU PONT**

Après que les plans préliminaires du pont auront été achevés, les examiner pour vérifier la conformité avec les recommandations hydrauliques. S'il y a des différences qui peuvent mettre le pont en danger ou avoir d'autres conséquences indésirables, examiner les solutions possibles et en discuter avec le concepteur de la structure.

## ÉTAPE 27 DOCUMENTER LA CONCEPTION HYDRAULIQUE

Une documentation propre aux aspects hydrauliques de conception, de construction et d'entretien est nécessaire pour les raisons suivantes :

- fournir de l'information utile pour la conception d'autres ponts dans les environs;
- fournir de l'information dans le cas de litiges et de réclamations sur dommages;
- aider lors d'enquêtes sur les effondrements de pont et les autres problèmes hydrauliques;
- aider lors de résolution des problèmes d'entretien de pont, surtout ceux concernant les fondations et la protection contre l'affouillement;
- faciliter la surveillance du rendement hydraulique d'un pont.

L'ampleur et le détail de la documentation dépendent de l'importance de la structure et de la probabilité de futures réclamations sur dommages et de problèmes d'entretien. Pour diminuer l'ampleur des dossiers, tous les documents non essentiels sont jetés et les plans réduits au strict nécessaire. Normalement, les documents suivants sont classés :

- correspondance pertinente, compte rendu de réunion, etc.;
- notes et données de terrain;
- rapport de l'étude de fondation;
- données de conception et calculs;
- compte rendu donnant les bases dans la prise de décisions en regard des options possibles de conception;
- résumé du travail;
- plan du site, profil et sections transversales, y inclus les détails de la rivière;
- plan d'ensemble du pont;
- photographies du site, surtout lorsque de futures réclamations sont possibles;

- information « tel que construit » sur les détournements de cours d'eau à partir des plans de construction, particulièrement dans les cas où cela peut affecter les futurs travaux d'entretien et de réhabilitation ou de réclamations sur dommages. L'information essentielle comprend :
  - les élévations du dessous des semelles;
  - les élévations auxquelles les pieux ont été fondés;
  - la section transversale précise de l'ouverture du pont.

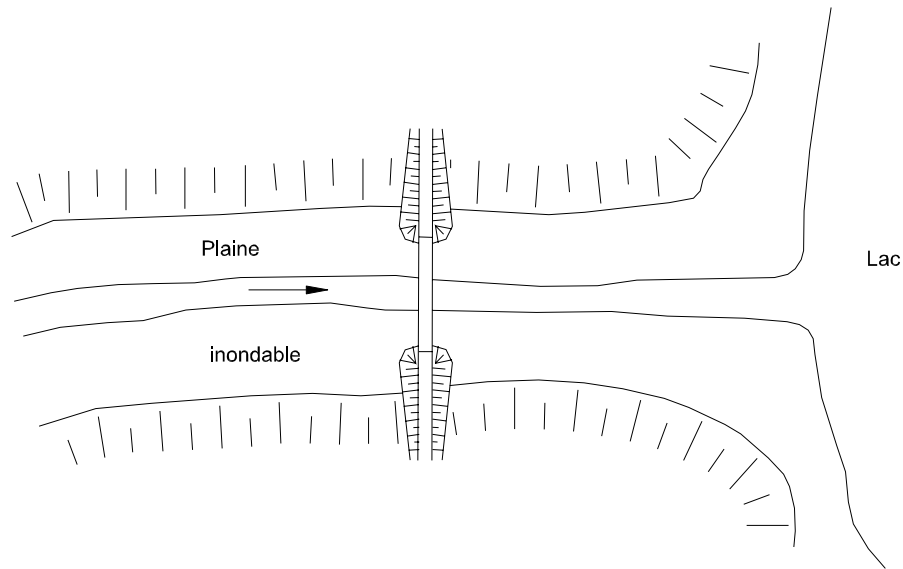
Les réparations et les modifications ultérieures du pont et de ses approches doivent aussi être documentées.



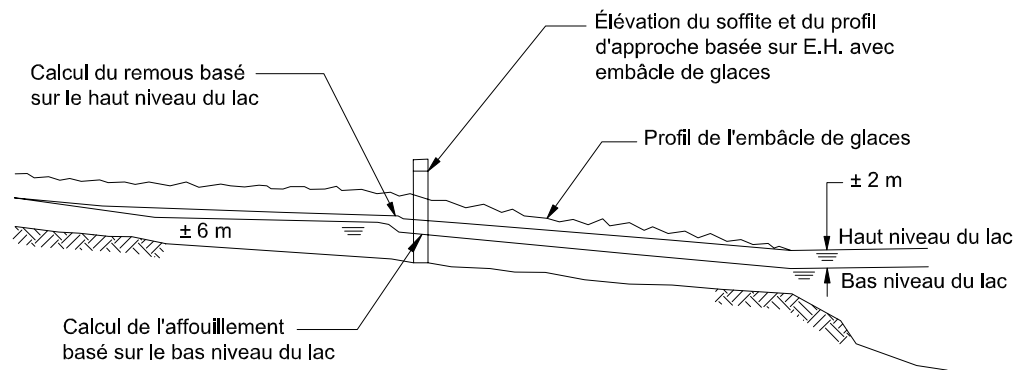
## **ANNEXE A**

### **Figures**



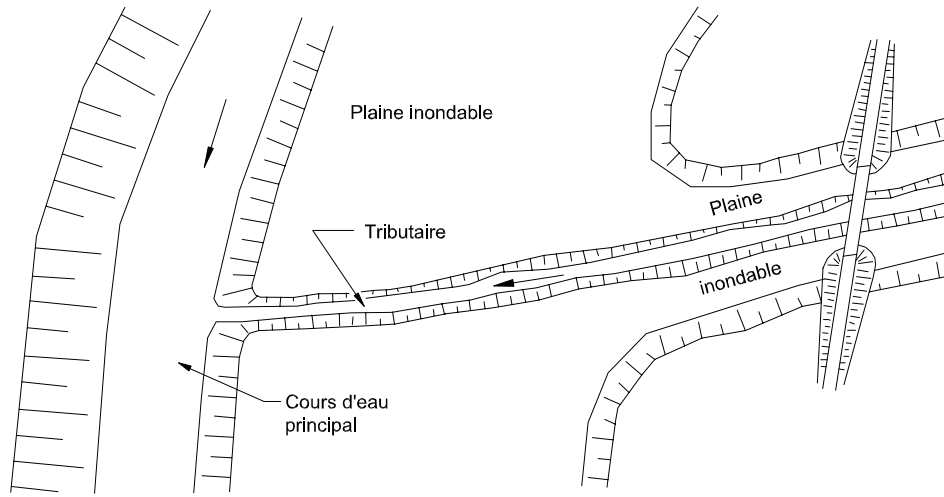


PLAN

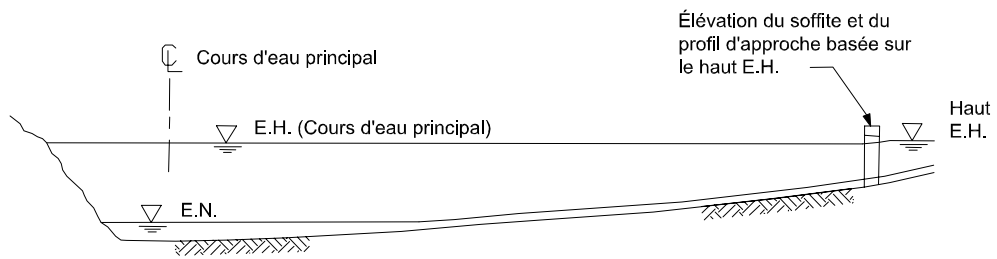


SECTION LONGITUDINALE DE LA RIVIÈRE

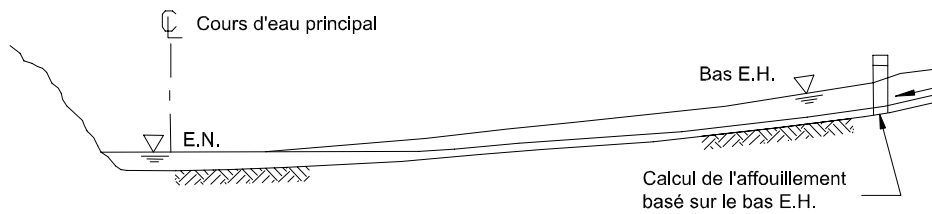
**Figure 2.1**  
Niveaux des eaux hautes à considérer à une traversée adjacente à un lac



a) PLAN DU SITE



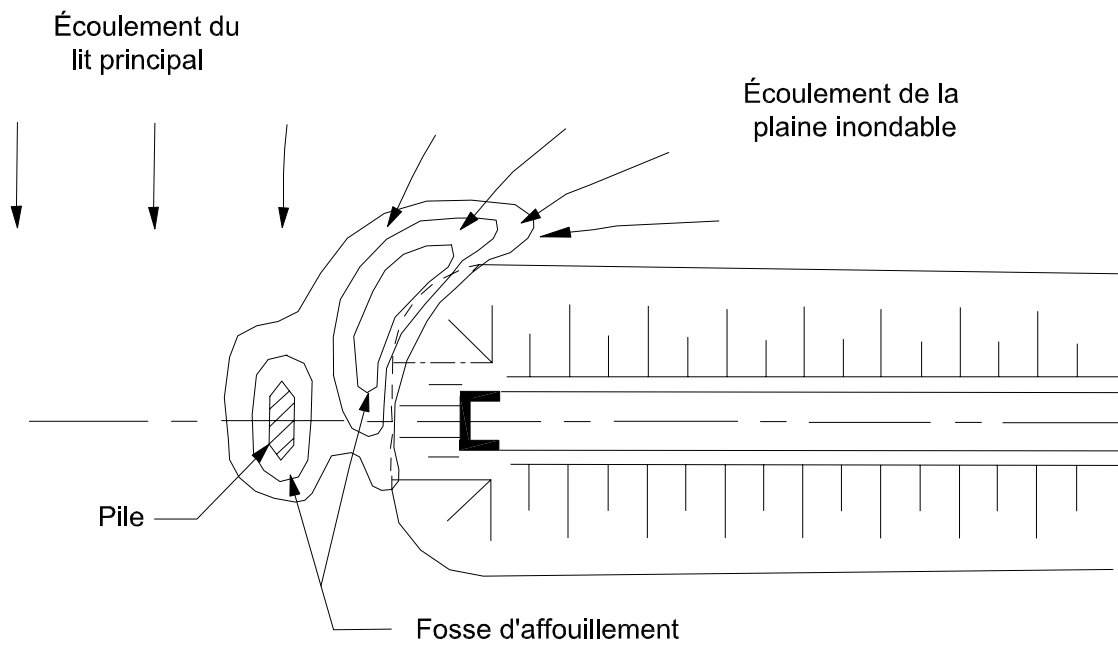
b) E.H. AVEC LE COURS D'EAU PRINCIPAL EN CRUE



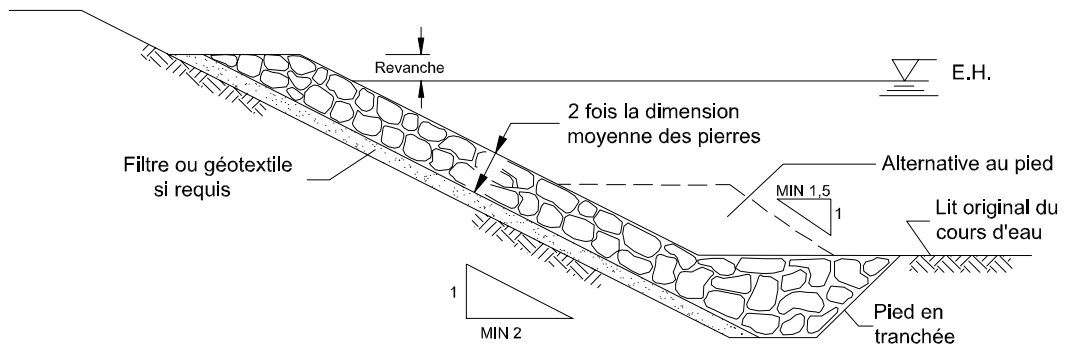
c) E.H. AVEC SEULEMENT LE TRIBUTAIRE EN CRUE

**Figure 2.2**

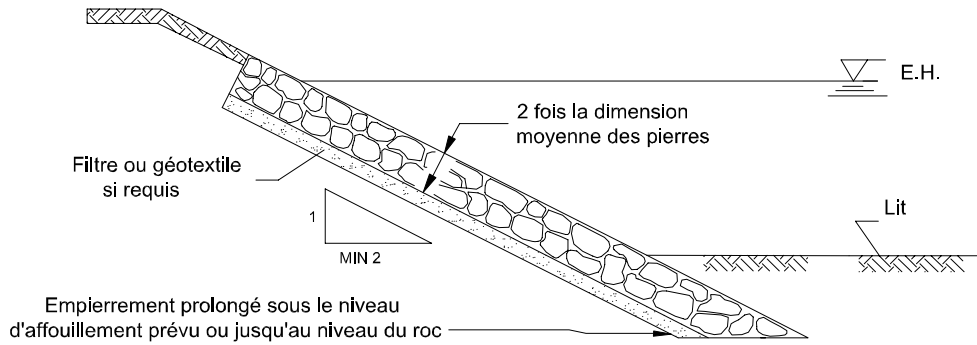
Niveaux des eaux hautes à une traversée d'un tributaire d'un cours d'eau



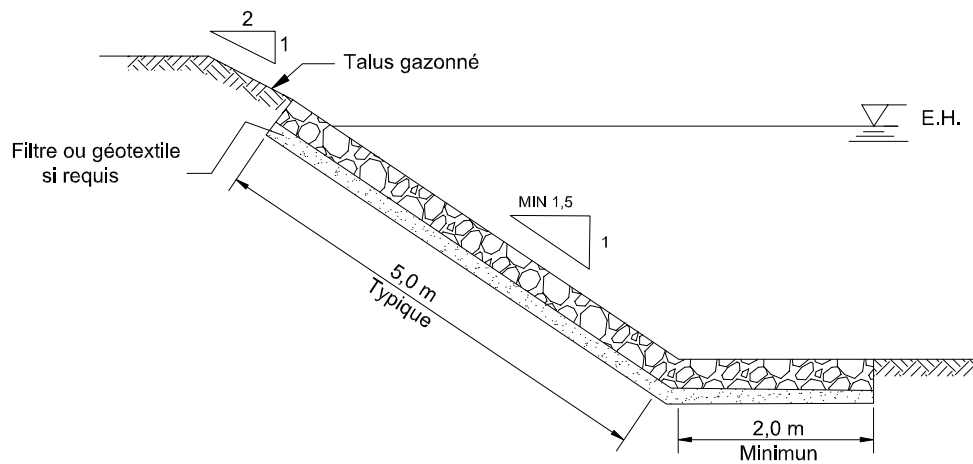
**Figure 2.3**  
 Affouillement local au pied du remblai d'approche à la culée, et chevauchement de cet affouillement local à l'affouillement de la pile



a) PROTECTION D'UN TALUS PAR EMPIERREMENT AVEC UN PIED

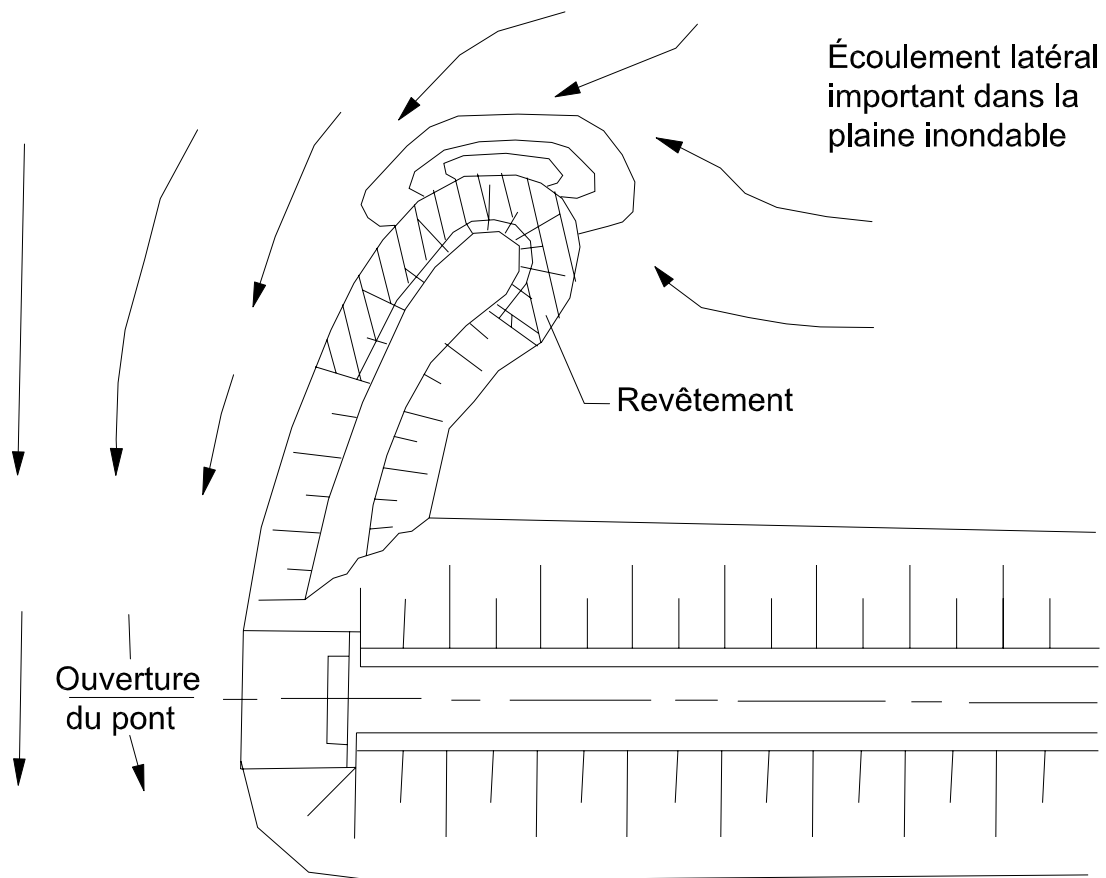


b) REVÊTEMENT EN PIERRES PROLONGÉ SOUS L'AFFOUILLEMENT PRÉVU



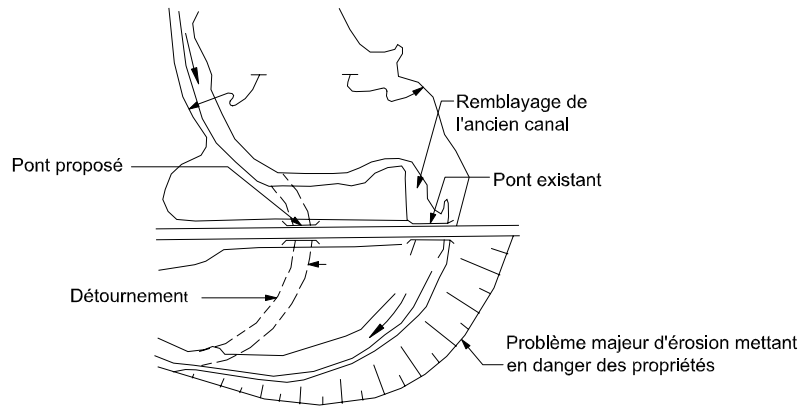
c) PROTECTION D'UN TALUS PAR GABION AVEC RADIER AU PIED

**Figure 2.4**  
Protection flexible typique d'un talus

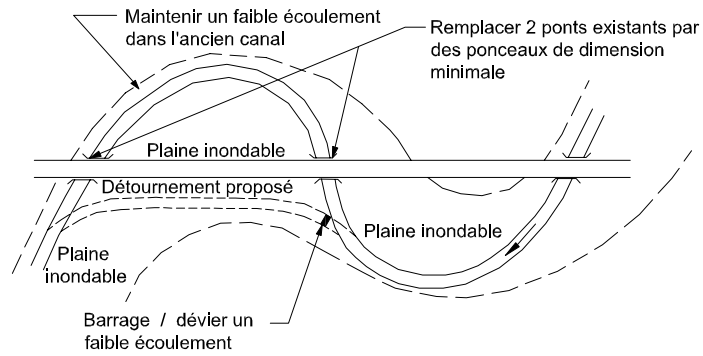


**Figure 2.5**

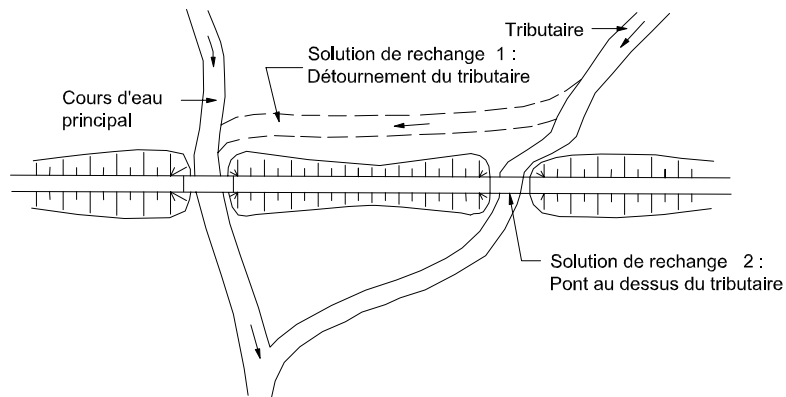
Mur guideau typique montrant la direction de l'écoulement et une fosse d'affouillement à son extrémité amont



a) DÉTOURNEMENT D'UN COURS D'EAU POUR ÉLIMINER UN PROBLÈME D'ÉROSION D'UNE BERGE EXISTANTE



b) DÉTOURNEMENT D'UN COURS D'EAU POUR RÉDUIRE LE NOMBRE DE PONTS REQUIS (UN AMÉNAGEMENT PEUT ÊTRE FAIT POUR MAINTENIR UN FAIBLE DÉBIT DANS L'ANCIEN CANAL)



c) DÉTOURNEMENT D'UN TRIBUTAIRE JOIGNANT LE COURS D'EAU PRINCIPAL EN AVAL D'UN PONT

**Figure 2.6**  
Déournement de cours d'eau



## **ANNEXE B**

### **Rapports de conception hydraulique**



## **RAPPORTS DE CONCEPTION HYDRAULIQUE**

Comme cela a été noté à la section 1.4, il est nécessaire, à plusieurs traversées, de diviser la conception hydraulique en deux phases : préliminaire et finale. Les pages suivantes fournissent une liste de contrôle pour le contenu du rapport et les recommandations préparées dans chacune de ces phases.

### **1. RAPPORT PRÉLIMINAIRE**

La conception hydraulique préliminaire se termine par un bref rapport et des recommandations donnant les grandes lignes de l'arrangement du pont et de la traversée proposée. Le rapport se limite généralement à une explication des recommandations. Dans cette phase de la conception, lorsque cela est jugé nécessaire, il est préférable d'ajouter un facteur de sécurité aux recommandations. Le but est de fournir l'information hydraulique nécessaire au Service de la conception des fondations, au Service de la conception de la structure, au Service du relevé d'arpentage et aux autres intervenants. Les recommandations préliminaires sont généralement les suivantes :

- la largeur provisoire de l'ouverture libre du pont, mesurée perpendiculairement à l'écoulement;
- la localisation de la ligne de centre du pont et, lorsque nécessaire, la localisation des piles et des culées en donnant des solutions de rechange lorsque la localisation optimale n'est pas certaine à cette phase;
- l'angle de biais, spécifiant la direction du biais, à la droite ou à la gauche de la perpendiculaire à la ligne de centre de la route;
- l'élévation minimale du soffite, en donnant, si nécessaire, la localisation de la mesure;
- l'élévation requise du profil d'approche lorsque celle-ci est déterminée par des considérations hydrauliques;
- d'autres recommandations, telles que les détails relatifs au détournement d'un cours d'eau;
- une demande pour informations additionnelles sur le relevé d'arpentage, par exemple des sections transversales ou des élévations de bâtisses dans une plaine inondable.

## 2. RAPPORT FINAL

Le rapport hydraulique final contient l'information significative sur l'hydrologie et l'hydraulique du site et sur les problèmes rencontrés. Lorsque cela est nécessaire, il explique le raisonnement derrière les recommandations.

### A. RAPPORT

1. Introduction
2. Hydrologie
  - Description du bassin versant;
  - Réservoirs existants de contrôle de crue;
  - Futur changement de l'écoulement;
  - Crues historiques importantes;
  - Sélection des critères de la crue de conception, normale ou extrême, etc.;
  - Méthode de calcul du débit de conception.
3. Caractéristiques du site
  - Description du canal et de la plaine inondable;
  - Le niveau des E.H. historique et les niveaux des E.H. estimés lors de l'enquête sur le terrain; discussion sur les moyens utilisés pour établir ces niveaux des E.H.;
  - Problèmes spéciaux : inondation de propriétés en amont, sévère embâcle de glaces, etc.; voir l'étape 1 paragraphe 2) à la section 2.1.
4. Structures existantes
  - a) Sommaire des ponts existants
    - Localisation
    - Numéro de dossier
    - Âge (ans)
    - Aire du bassin versant (km<sup>2</sup>)
    - Largeur de l'ouverture (m)
    - Hauteur de crue (m)
    - Remarques \*
  - \* Remarques à propos de problèmes hydrauliques, par exemple des problèmes d'affouillement, d'écoulements de décharge au-dessus des routes, de conditions différentes de la traversée proposée.

- b) Commentaires généraux sur le rendement hydraulique des ponts existants et sur leur pertinence de servir de guide pour la sélection des dimensions du nouveau pont

5. Traversée proposée

a) Localisation et biais

- Discussion et solutions de rechange, s'il y a lieu
- Justification et détails relatifs au détournement de cours d'eau

b) Conception de l'ouverture du pont

- Critères et facteurs déterminant la conception hydraulique, comme l'affouillement, le remous, la navigation
- Mérites relatifs d'un pont versus un ponceau lorsque cela est applicable
- Bref sommaire des conclusions et recommandations de l'étude géotechnique
- Discussion sur la détermination de l'affouillement
- Problèmes d'affouillement aux ponts existants
- Protection structurale contre l'affouillement
- Écoulement de décharge lors des crues extrêmes
- Facteurs déterminant le choix des dimensions de l'ouverture du pont
- Justification d'augmenter les dimensions pour les crues extrêmes, si applicable
- Approche utilisée pour contrer les conditions spéciales du site et des problèmes comme les embâcles sévères

Note : Lorsque le rapport de l'étude géotechnique n'est pas disponible au moment de la rédaction du rapport hydraulique, il faut mentionner que les recommandations de la protection structurale devront être validées lorsqu'il sera disponible.

c) Structures de décharge

- Justification
- Dimensions des ouvertures, protection contre l'affouillement, etc.

- d) Mesures de protection non structurale
- Protection des remblais d'approche aux culées
  - Protection des berges du cours d'eau
  - Autres protections

## **B. RÉSUMÉ DES RECOMMANDATIONS**

1. La largeur de l'ouverture libre du pont, excluant les piles, mesurée perpendiculairement à l'écoulement.
2. La localisation de la ligne de centre du pont et, lorsque critique, la localisation individuelle des piles et des culées. Occasionnellement, il peut être nécessaire de donner au concepteur le choix entre des possibilités de localisations d'égal mérite.
3. L'angle de biais, spécifiant la direction droite ou gauche de la ligne normale à la ligne de centre de la route.
4. L'élévation minimale du soffite.
5. Des recommandations relatives à la protection structurale contre l'affouillement, y inclus ce qui suit :
  - profondeurs des semelles superficielles;
  - critères relatifs à l'affouillement afin d'assurer la stabilité des pieux pour les fondations, la protection en palplanches et les caissons;
  - considération pour la dégradation et le creusage artificiel.
6. Des détails concernant la protection non structurale comme l'exige :
  - protection des talus des culées;
  - protection des remblais d'approche;
  - protection des berges du cours d'eau;
  - murs guideaux;
  - revêtements du lit sous le pont;
  - tapis en enrochement, murs paraffouilles;
  - besoins d'un filtre granulaire ou d'une membrane géotextile pour les enrochements, les gabions, etc.

7. Des détails concernant les structures de décharge, y inclus la largeur des ouvertures, la localisation, le biais, le soffite, la protection contre l'affouillement, comme dans le cas d'un pont principal.
8. L'élévation du profil aux approches, lorsque celle-ci est déterminée par des considérations hydrauliques.
9. Des détails concernant le détournement d'un canal
  - localisation et alignement;
  - dimensions de la section transversale;
  - pente longitudinale;
  - seuils ou autres structures spéciales requises;
  - protection requise du lit et des berges à des points critiques, spécialement aux extrémités amont et aval;
  - exigences spéciales pour la protection et la conservation de l'habitat du poisson;
  - exigences pour la végétation;
  - restauration de l'ancien canal, y inclus le maintien de faibles débits lorsque requis.
10. Recommandations diverses
  - Mesures spéciales pour des conditions sévères de glaces ou de débris;
  - Enlèvement ou conservation d'une structure existante, entièrement ou en partie;
  - Exigences et détails spéciaux pour un mur de soutènement;
  - Détails d'élargissement ou de creusage d'un canal à l'endroit d'un pont;
  - Exigences pour des considérations spéciales par les autorités de conservation ou les autres intervenants, par exemple une inondation potentiellement sévère en amont, un barrage d'Hydro-Québec affecté, la navigation, le drainage municipal.

## C. ANNEXES

Lorsque fournie, l'annexe contient une information nécessaire pour une meilleure compréhension du rapport et un meilleur suivi des recommandations.

Les informations et articles suivants doivent toujours figurer à l'annexe :

- Carte de localisation habituellement fournie pour visualiser rapidement le site et enlever le risque d'erreur sur la localisation. Une carte topographique à l'échelle 1:50 000 est généralement utilisée.
- Élévations des niveaux d'eau devant être indiquées sur le plan d'ensemble d'un pont. Celles-ci doivent être fournies sous la forme du tableau 2.3-2 du chapitre 2, Tome III – Ouvrages d'art, des normes du MTQ.
- Données électroniques et papiers de l'entrée et de la sortie des calculs hydrauliques effectués à l'aide des logiciels.

Les informations et articles suivants doivent être inclus seulement s'ils servent un but utile :

- Photographies aériennes lorsque cela est nécessaire pour la compréhension du rapport et des recommandations.
- Photographies des problèmes du site à l'étude, des ponts existants, des barrages avoisinants, des propriétés critiques, etc.
- Section transversale du pont proposé si ce n'est pas évident à partir des recommandations.
- Détails relatifs au détournement de cours d'eau.
- Correspondance importante avec les différents intervenants.
- Détails d'exigences non standards, par exemple l'enrochement au pied d'un talus, le tapis d'enrochement autour d'une pile.

