



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

LIGNES DIRECTRICES

pour les traversées de cours
d'eau au Québec

ÉDITION 2016

Recherche et rédaction

Marie Gaulin
Mathieu Leclerc
Alain Guitard
Lucie Roy

Révision technique

Dominic Boula
Serge-Éric Picard

Soutien à la production

Judy Doré
Danielle Dorion
Sylvi Racine
Guy Anne Castonguay
Brigitte Lévesque
Michel Lemay

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier toutes les personnes qui, par leur collaboration et de nombreuses discussions constructives, critiques positives et propositions innovatrices, ont fait progresser significativement le document. En particulier, les auteurs tiennent à souligner l'apport important du ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, et de Sylvio Demers de l'équipe de géomorphologie et de dynamique fluviale de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR).

Publié par :

Programme de protection pêches
Pêches et Océans Canada
Région du Québec

This publication is also available in English

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2016.

Autorisation de reproduction :

Sauf avis contraire, l'information contenue dans cette publication peut être reproduite, en totalité ou en partie, sans frais et autre autorisation de Pêches et Océans Canada, pourvu qu'une diligence raisonnable soit exercée afin d'assurer l'exactitude de l'information reproduite, que Pêches et Océans Canada soit mentionné comme la source de l'information et que la reproduction ne soit présentée ni comme une version officielle ni comme une copie ayant été faite en collaboration avec Pêches et Océans Canada ou avec son consentement.

Comment citer ce document :

Pêches et Océans Canada. 2016. Lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec. 73 pages + annexes.

LIGNES DIRECTRICES

pour les traversées de cours
d'eau au Québec

ÉDITION 2016

■ AVERTISSEMENT : ■

Le contenu du présent document est mis à jour régulièrement. Il est donc important de vérifier auprès de Pêches et Océans Canada, région du Québec, pour obtenir la version la plus récente.

Le document présente des recommandations visant à aider le promoteur à se conformer à la [Loi sur les pêches](#) et à la [Loi sur les espèces en péril](#). Toutefois, le respect de ces recommandations ne constitue pas un avis officiel, ni une autorisation, ni un permis en vertu de ces lois. Le document ne remplace pas non plus les lois et les règlements d'application auxquels il réfère. En cas d'incompatibilité, les textes officiels de lois et de règlements ont préséance.

Il est de la responsabilité du promoteur d'obtenir les permis ou autorisations qui pourraient être requis en vertu de lois ou de règlements municipaux, provinciaux, territoriaux ou fédéraux (ex. : [Loi sur la protection de la navigation](#)) qui s'appliquent aux travaux projetés.

Le Ministère renonce à toute responsabilité qui découlerait d'une mauvaise compréhension ou mise en œuvre des recommandations émises dans le document.

Note : Les termes en **vert** dans le texte sont définis dans le glossaire.
Les termes en **bleu italique** mènent à des sites Internet compilés à l'annexe III.

Pour plus d'informations, ou pour soumettre une demande d'examen ou d'autorisation de projets, nous vous invitons à vous adresser au :

Programme de protection des pêches
Pêches et Océans Canada
850, route de la Mer, C. P. 1000
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4
Téléphone : 1-877-722-4828 (sans frais)
Télécopieur : 418-775-0658
Courriel : habitat-qc@dfo-mpo.gc.ca

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES SYMBOLES	ix
GLOSSAIRE	x

1.0	INTRODUCTION	1
1.1	Portée et limites du document	1
1.2	Les lois et le processus d'examen de projets	2
1.3	Enjeu pour le poisson : le libre passage	4
2.0	À L'ÉTAPE DE LA PLANIFICATION D'UN PROJET	7
2.1	Reconnaissance géomorphologique.....	7
2.2	Positionnement des infrastructures de transport	7
2.3	Détermination du besoin d'assurer le libre passage du poisson	8
2.3.1	Caractérisation des cours d'eau.....	8
2.3.2	Décisions et prochaines étapes	9
3.0	À L'ÉTAPE DE LA CONCEPTION : Installation et remplacement	11
3.1	Pont	13
3.2	Ponceau en arche court	13
3.3	Ponceau à simulation de cours d'eau	16
3.3.1	Positionnement du ponceau.....	17
3.3.1.1	<i>En plan</i>	18
3.3.1.2	<i>En profil</i>	18
3.3.2	Lit simulé dans le ponceau.....	18
3.3.2.1	<i>Styles fluviaux</i>	18
3.3.2.2	<i>Matrice des substrats</i>	19
3.3.2.3	<i>Rives</i>	23
3.3.2.4	<i>Blocs du tronçon de référence</i>	23
3.3.3	Dimensions du ponceau.....	23
3.3.4	Ajustements dans les cas de surplus d'énergie à dissiper.....	24
3.3.4.1	<i>Augmentation de la rugosité</i>	24
3.3.4.2	<i>Géométrie de la section d'écoulement</i>	25
3.4	Ponceau à refoulement	27
3.5	Ponceau à déversoirs	30
3.5.1	Positionnement du ponceau.....	31
3.5.1.1	<i>En plan</i>	31
3.5.1.2	<i>En profil</i>	31
3.5.2	Nombre et positionnement des déversoirs	31
3.5.2.1	<i>Emplacement à partir des extrémités</i>	31
3.5.2.2	<i>Espacements</i>	32
3.5.3	Modèles des déversoirs et des encoches.....	32
3.5.4	Dimensions des encoches	33
3.5.5	Bassin de dissipation d'énergie	35
3.5.6	Seuil en aval du bassin de dissipation d'énergie.....	36

3.6	Ponceaux doubles	38
3.6.1	Ponceaux à simulation de cours d'eau	38
3.6.2	Ponceaux à refoulement.....	38
3.6.3	Ponceaux à déversoirs	38
4.0	À L'ÉTAPE DE LA CONCEPTION : Réfection de ponceaux	41
4.1	Aménagements à l'intérieur du ponceau.....	41
4.2	Ouvrages en aval du ponceau existant	42
4.2.1	Seuils	42
4.2.2	Petites passes migratoires	43
4.3	Autres options	43
5.0	À L'ÉTAPE DE LA CONCEPTION : Aménagements et ouvrages connexes.....	45
5.1	Stabilisation des ouvrages.....	45
5.2	Reconstitution de cours d'eau	45
5.3	Drainage des eaux de ruissellement	47
6.0	À L'ÉTAPE DE LA CONSTRUCTION.....	49
6.1	Libre passage du poisson	49
6.2	Autres enjeux	50
6.2.1	Calendrier de réalisation des travaux	50
6.2.2	Contrôle de l'érosion et du transport des sédiments	50
6.2.3	Protection du poisson	50
6.2.4	Ouvrages temporaires et remise en état des lieux	50
6.2.5	Gestion de l'eau.....	51
6.2.6	Travaux en période hivernale.....	51
7.0	AUX ÉTAPES DU SUIVI ET DE L'ENTRETIEN	53
7.1	Fréquence des suivis	53
7.2	Paramètres à suivre.....	54
7.2.1	Paramètres généraux.....	54
7.2.2	Paramètres spécifiques	54
7.2.2.1	<i>Simulation et reconstitution de cours d'eau</i>	<i>54</i>
7.2.2.2	<i>Ponceaux à déversoirs et ouvrages en aval d'un ponceau existant</i>	<i>55</i>
7.2.2.3	<i>Ponceaux à refoulement</i>	<i>55</i>
ANNEXE I	NOTIONS DE GÉOMORPHOLOGIE	57
AI-I	TRANSPORT DE SÉDIMENTS.....	57
AI-II	STYLES FLUVIAUX.....	58
AI-III	ÉQUILIBRE DYNAMIQUE.....	60

ANNEXE II	INVENTAIRE REQUIS POUR LA CONCEPTION	63
AII-I	CHOIX DU TRONÇON À INVENTORIER	63
AII-II	GÉOMORPHOLOGIE	63
AII-III	PROFIL EN LONG ET PENTES.....	65
AII-IV	SECTIONS TRANSVERSALES.....	66
AII-V	AUTRES INFORMATIONS REQUISES.....	67
ANNEXE III	LIENS UTILES	71
BIBLIOGRAPHIE	72

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1	Ponceau en arche court
Figure 3.2	Limites de linéarisation du cours d'eau
Figure 3.3	Ponceau à simulation de cours d'eau
Figure 3.4	Exemple de réduction de la longueur d'un ponceau
Figure 3.5	Positionnement en profil
Figure 3.6	Différents types de courbes granulométriques
Figure 3.7	Enveloppes recommandées pour les calibres supérieurs de la courbe granulométrique
Figure 3.8	Ensemble des balises recommandées – Exemple avec $D_{stable} = D_{84} = 250$ mm
Figure 3.9	Largeur minimale du lit simulé
Figure 3.10	Ponceau à refoulement (vue en profil)
Figure 3.11	Ponceau à refoulement (vue en plan)
Figure 3.12	Ponceau à déversoirs
Figure 3.13	Emplacement des déversoirs à partir des extrémités et espacement minimal
Figure 3.14	Paramètres de conception des déversoirs
Figure 3.15	Modèle des déversoirs et encoches
Figure 3.16	Dimensions du bassin de dissipation d'énergie
Figure 4.1	Seuils en aval du ponceau existant
Figure 5.1	Schéma d'un méandre
Figure 5.2	Drainage des eaux de ruissellement près d'une traversée de cours d'eau
Figure 7.1	Localisation des prises de vue communes à tous les types d'aménagements
Figure 7.2	Écoulement non refoulé jusqu'en amont du ponceau
Figure AI.1	Le modèle du convoyeur à sédiments à l'échelle du bassin versant
Figure AI.2	Organisation spatiale du cours d'eau à l'échelle du bassin versant
Figure AI.3	Styles fluviaux
Figure AI.4	La balance de Borland/Lane
Figure AII.1	Pente d'un cours d'eau
Figure AII.2	Différents cas de ratios de pentes
Figure AII.3	Largeur au débit plein bord

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1	Sélection des approches envisageables
Tableau 3.2	Longueur et pente maximales d'un ponceau à refoulement
Tableau 3.3	Exemples d'espacements maximaux entre les déversoirs avec un dénivelé de 150 mm
Tableau 3.4	Débit minimal (m^3/s) pour remplir une encoche
Tableau AII.1	Indicateurs de terrain pour identifier les cours d'eau stables ou activement en érosion ou en aggradation

LISTE DES SYMBOLES

D (mm)	: Diamètre
D_x (mm)	: Diamètre des sédiments dont $x\%$ sont plus petits (ex. : 84% des sédiments sont inférieurs à la taille du D_{84})
DPB (m^3/s)	: Débit plein bord
g (m/s^2)	: Accélération gravitationnelle ($9.81 m/s^2$)
h_x (m)	: Hauteur de x
Δh (m)	: Dénivelé x
ℓ_x (m)	: Largeur de x
L (m)	: Longueur
L_x (m)	: Longueur de x
LDPB (m)	: Largeur au débit plein bord
LNHE (m)	: Ligne naturelle des hautes eaux
m	: Paramètre qui module la distribution granulométrique (Fuller-Thompson)
n	: Coefficient de Manning
ρ (kg/m^3)	: Densité de l'eau ($1000 kg/m^3$)
P_s (W/m^2)	: Puissance spécifique
P_v (W/m^3)	: Puissance volumique dissipée
Q (m^3/s)	: Débit
Q_c (m^3/s)	: Capacité de transport
Q_s (m^3/s)	: Débit solide (apport en sédiments)
Q_x (m^3/s)	: Débit égalé ou dépassé $x\%$ du temps pendant la période visée
RP	: Ratio de pentes
S_x (m/m)	: Pente de x

GLOSSAIRE

Aggradation :

Accumulation de sédiments composés de galets, de gravier, de sable, de limon et d'argile, dans les lacs et les cours d'eau où le ralentissement de l'écoulement ne favorise plus le transport.

Capacité de transport (Q_c) :

Capacité que possède un cours d'eau de transporter une charge en sédiments.

Coefficient de Manning (n) :

Coefficient qui caractérise la rugosité de la surface d'écoulement. Une surface lisse a un coefficient de Manning faible, tandis qu'une surface rugueuse a un coefficient de Manning élevé.

Débit plein bord (DPB) :

Débit de crue recouvrant le chenal actif du cours d'eau immédiatement avant le débordement. Il correspond généralement à la distance entre les lignes délimitant l'écotone riverain et le milieu terrestre. La largeur au débit plein bord (LDPB) est déterminée généralement selon des indices physiques (voir Annexe II).

Érosion régressive :

Érosion du substrat qui se propage de l'aval vers l'amont, c'est-à-dire dans le sens inverse de l'écoulement de l'eau.

Ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) :

Sert à délimiter le littoral et la rive des cours d'eau et des lacs c'est-à-dire à l'endroit où l'on passe d'une prédominance de plantes aquatiques à une prédominance de plantes terrestres ou, s'il n'y a pas de plantes aquatiques, à l'endroit où les plantes terrestres s'arrêtent en direction du plan d'eau. La LNHE est toujours égale ou supérieure à la LDPB.

Pavage d'un cours d'eau :

Concentration en surface de sédiments grossiers, par un tri sélectif du matériel fin avec lequel ils étaient mélangés.

Pente d'un cours d'eau ($S_{\text{cours d'eau}}$) :

Inclinaison par rapport à l'horizontal du profil en long d'un thalweg. La pente se mesure entre deux faciès de même type, idéalement entre deux seuils. La pente est le ratio de la différence d'élévation sur la longueur du thalweg (voir Annexe II).

Périmètre mouillé :

Longueur de la paroi d'un canal ou d'un ponceau en contact avec l'eau, mesurée dans un plan perpendiculaire à la direction de l'écoulement.

Profil en long d'un cours d'eau :

Graphique représentant l'élévation du thalweg d'un cours d'eau en fonction de la longueur de ce thalweg.

Puissance spécifique (P_s) :

Mesure de l'énergie fournie par l'écoulement d'un cours d'eau par unité de surface. Elle est un indicateur de la sensibilité à l'érosion ou au dépôt de sédiments dans le cours d'eau.

Puissance volumique dissipée (P_v) :

Mesure de l'énergie dissipée par unité de volume (W/m^3). Elle est un indicateur simple du niveau d'agitation dans des bassins.

Ratio d'encaissement :

Rapport entre la largeur d'une section transversale à l'élévation équivalente à deux fois la profondeur au niveau du DPB et la LDBP (voir Annexe II).

Ratio de pentes (RP) :

Rapport entre la pente du ponceau et la pente du cours d'eau en amont du ponceau. Le ratio de pentes est une mesure indirecte du rapport de capacité de transport entre les deux tronçons.

Rayon hydraulique :

Rapport de la surface de la section mouillée au périmètre mouillé.

Sinuosité :

Rapport entre la longueur du chenal d'un cours d'eau et la distance en ligne droite entre les deux extrémités de ce même chenal. Une sinuosité de 1 correspond à un chenal rectiligne.

Thalweg :

Ligne joignant les points les plus profonds du lit d'un cours d'eau.



1.0



10

INTRODUCTION

Au Québec, les eaux de surface occupent environ 10 % du territoire. Les lacs, les ruisseaux et les rivières sont donc omniprésents et contribuent de façon importante à la diversité des écosystèmes ainsi qu'à la richesse faunique. Sur l'ensemble du territoire, on dénombre plus d'une centaine d'espèces de poissons qui fréquentent les milieux d'eau douce.

Par ailleurs, la croissance de la population humaine, de l'activité économique et de l'exploitation des ressources naturelles, favorisent le développement d'infrastructures de transport routières et ferroviaires. L'installation, le remplacement, la réfection et l'entretien de milliers d'ouvrages de traversée de cours d'eau sont réalisés chaque année. Ceux-ci sont susceptibles de causer des dommages sérieux au poisson. Ces structures, lorsqu'elles ne sont pas adéquatement conçues, peuvent notamment entraver le libre passage du poisson, particulièrement lorsqu'il se déplace vers l'amont des cours d'eau, et provoquer le fractionnement de l'habitat du poisson ainsi que l'isolement de populations de poissons.

Une des responsabilités de Pêches et Océans Canada (le Ministère) liées à l'application de la [Loi sur les pêches](#) est la gestion des menaces à la durabilité et la productivité continue des pêches commerciales, récréatives et autochtones ou des poissons dont dépendent ces pêches. Le Ministère a également des responsabilités concernant la protection et le rétablissement des espèces aquatiques en péril inscrites en vertu de la [Loi sur les espèces en péril](#). Le Programme de protection des pêches du Ministère gère le processus réglementaire en vertu de ces deux lois pour les projets de développement réalisés dans ou à proximité de plans d'eau.

Le Ministère a produit ces lignes directrices afin d'aider les responsables des projets à planifier et réaliser des aménagements de traversées de cours d'eau en particulier pour le libre passage du poisson. Le document est divisé selon les étapes chronologiques de la réalisation d'un projet, soit la planification, la conception, la construction, le suivi et l'entretien.

1.1 Portée et limites du document

Le Ministère souhaite d'une part que les recommandations et conseils fournis dans ce document aident les promoteurs à atteindre les objectifs de protection du poisson et de son habitat, notamment le libre passage du poisson. D'autre part, il désire contribuer à réduire les délais d'examen et d'évaluation de projets en outillant les promoteurs pour qu'ils soumettent dès le départ des dossiers complets dans le cadre d'un processus prévisible. Le présent document vise également à limiter les risques de demandes de modifications importantes de projets soumis pour examen au Ministère, lesquelles peuvent avoir des incidences financières et sur les échéanciers de réalisation des projets.

Le Ministère ne prétend pas exposer toutes les solutions possibles pour atteindre les objectifs de protection des pêches. Les promoteurs peuvent appliquer les critères présentés, ou s'en inspirer pour proposer des variations afin d'atteindre ces objectifs.

Le document s'adresse entre autres aux promoteurs, aux chargés de projet, aux responsables en environnement, aux consultants, aux concepteurs et aux surveillants qui interviennent à une étape ou l'autre de projets d'infrastructures de transport impliquant des traversées de cours d'eau. Voici quelques exemples de types de projets pour lesquels le présent document pourrait s'appliquer : routes et autoroutes publiques; infrastructures routières incluses dans des projets immobiliers municipaux ou privés; chemins d'accès pour les projets d'exploitation des ressources naturelles et fauniques; voirie ferroviaire; chemins à vocation récréotouristique (ex. : sentiers pédestres ou de motoneige, pistes cyclables).

LIMITES DU DOCUMENT

Le document porte principalement sur la protection du libre passage du poisson lorsque nécessaire, car il s'agit souvent de l'enjeu principal dans les projets de traversées de cours d'eau. Bien que d'autres enjeux pour le poisson et son habitat soient exposés, ce document n'aborde pas spécifiquement les mesures permettant d'éviter tous les types d'impacts de projets d'infrastructures qui pourraient représenter des dommages sérieux au poisson ou les mesures particulières qui pourraient être nécessaires pour protéger des espèces aquatiques en péril. D'autres outils et ressources sont disponibles, notamment auprès du Programme de protection des pêches du Ministère (Région du Québec), afin d'appuyer les promoteurs dans les différentes étapes de planification et de réalisation de leurs projets.

Les lignes directrices ont été libellées sous leur forme la plus générale. Certaines recommandations pourraient devoir être adaptées en fonction des espèces de poissons, de leurs stades de vie, des caractéristiques du milieu ou des contextes particuliers d'un projet.

Les caractéristiques des ouvrages, telles que la capacité structurale, la capacité hydraulique, la stabilité ou la durée de vie, relèvent entièrement de la responsabilité des promoteurs.

1.2 Les lois et le processus d'examen de projets

Le Ministère est responsable de l'élaboration et de la mise en œuvre des politiques et des programmes à l'appui des intérêts scientifiques, écologiques, sociaux et économiques du Canada concernant les océans et les eaux intérieures. Bien que la responsabilité de gestion des pêches intérieures (c'est-à-dire la gestion des stocks de poissons) ait été transmise à certaines provinces, le gouvernement fédéral demeure responsable du Programme de protection des pêches dans les eaux douces et marines au Canada, indépendamment de la tenure publique ou privée du plan d'eau. La prestation des activités liées à l'administration et à l'application des dispositions de la [Loi sur les pêches](#) relatives à la protection du poisson et de son habitat est sous la responsabilité de Pêches et Océans Canada, tandis qu'Environnement et Changement climatique Canada se charge des dispositions liées à la prévention de la pollution. En ce qui concerne l'administration et l'application des dispositions de la [Loi sur les espèces en péril](#), Pêches et Océans Canada est également responsable de la protection et du rétablissement des espèces aquatiques en péril.

La *Loi sur les pêches* protège, entre autres, les poissons visés par une pêche commerciale, récréative et autochtone ou des poissons dont dépendent ces pêches. Les principaux articles de la *Loi sur les pêches* relatifs à la protection des pêches en vertu desquels le Ministère examine les projets comprennent une interdiction de causer des dommages sérieux (c'est-à-dire la mort du poisson, la modification permanente ou la destruction d'habitat) à tout poisson visé par une pêche ou dont dépendent une telle pêche (article 35) ainsi que des dispositions sur le débit de l'eau et le passage du poisson (article 20).



La *Loi sur les espèces en péril* vise à prévenir la disparition des espèces sauvages et à favoriser le rétablissement des espèces mises en péril en raison des activités humaines.

(ex. : la pêche commerciale, les activités industrielles, l'urbanisation). Le Ministère est responsable des espèces aquatiques sauvages en eau douce ou en eau salée. Pour les espèces inscrites à l'annexe 1 de la *Loi sur les espèces en péril*, les principaux articles de la *Loi* en vertu desquels le Ministère examine les projets comprennent l'interdiction de tuer, nuire, ou capturer un individu (article 32), ainsi que l'interdiction d'endommager ou de détruire la résidence (article 33) ou un élément de l'habitat essentiel nécessaire à la survie ou au rétablissement d'une espèce en péril (article 58).

Le processus intégré d'examen réglementaire en vertu de la *Loi sur les pêches* et de la *Loi sur les espèces en péril* s'applique aux examens de projets de développement (c'est-à-dire des ouvrages, entreprises et activités réalisés dans ou à proximité d'un plan d'eau) qui peuvent avoir des répercussions sur le poisson et son habitat, y compris les espèces aquatiques en péril, leurs résidences et leurs habitats.

Dès le début de leur processus de planification, les promoteurs sont invités à consulter le [site Internet de Pêches et Océans Canada](#), entre autres pour vérifier si leur projet est d'emblée non assujéti à un examen par le Ministère.

■ PROJETS ET TYPES DE PLANS D'EAU NON ASSUJETTIS À L'EXAMEN DE PÊCHES ET OCÉANS CANADA ■

Certains projets ne sont pas assujettis à un examen par Pêches et Océans Canada s'ils respectent certains critères. Une liste de ces projets et des critères à respecter est disponible sur le [site Internet du Ministère](#). Par exemple, certains travaux mineurs de réparations sur des ponts ou ponts-jetées ne sont pas assujettis à un examen.

Le site Internet présente également des types de plans d'eau où un examen du Ministère n'est pas requis.

Par conséquent, un promoteur devrait d'abord consulter le site Internet afin de vérifier si son projet ou une de ses composantes est visé par un avis de non assujettissement d'examen.

Il incombe aux promoteurs de gérer et de réduire les impacts découlant de leurs projets. L'examen de solutions de rechange et les modifications apportées au projet proposé (ex. : l'emplacement, la conception, les méthodes de travail, les échéanciers) sont encouragés pour prévenir les dommages sérieux causés au poisson, ou éviter de nuire ou de causer une destruction d'un élément de l'habitat essentiel ou de la résidence d'une espèce en péril, ce qui est interdit sans l'autorisation du Ministère. Lorsqu'il est impossible d'éviter totalement un dommage sérieux, le promoteur devrait déposer une demande d'examen auprès du Ministère.

■ TRAVAUX NON-CONFORMES ■

Si des dommages sérieux, non autorisés par Pêches et Océans Canada, sont causés au poisson ou à son habitat ou qu'il ne respecte pas les conditions d'autorisation émise, le promoteur pourrait être reconnu coupable d'une infraction en vertu de l'article 35(1) de la *Loi sur les pêches*. Toute personne à l'origine d'incidents qui entraînent des dommages sérieux au poisson, avérés, éminents ou non autorisés, a l'obligation, selon l'article 38(4) de la *Loi*, d'en aviser le Ministère.

Si des travaux entraînent la mort, nuisent, ou harcèlent des individus d'une espèce inscrite, ou s'ils causent une destruction d'un élément de son habitat essentiel ou de la résidence de ces individus, sans que cela n'ait été officiellement autorisé par Pêches et Océans Canada, le promoteur pourrait être reconnu coupable d'une infraction en vertu de la *Loi sur les espèces en péril*.

Si vous êtes confronté à une ou l'autre de ces situations, veuillez communiquer avec le Ministère afin de trouver des solutions et de corriger rapidement la situation.

1.3 Enjeu pour le poisson : le libre passage

Les poissons se déplacent tout au long de leur vie pour avoir accès à des habitats de qualité afin de se nourrir, se reproduire et s'abriter. La connectivité entre ces différents habitats est essentielle afin que les poissons aient accès aux ressources nécessaires pour accomplir leurs activités vitales de manière optimale et d'éviter d'isoler les populations. Par exemple, si le poisson ne peut se nourrir adéquatement, il sera en moins bonne condition, ce qui pourra retarder sa croissance, réduire son succès reproducteur ou en faire une proie plus facile. En période de reproduction, la présence d'obstacles sur le parcours des géniteurs peut les empêcher d'atteindre les meilleurs sites de reproduction ou encore retarder leur arrivée à ces sites, ce qui nuira à la survie des œufs et des juvéniles. Il est important de noter que le libre passage du poisson est essentiel non seulement pour les poissons migrant entre les milieux marin et d'eau douce (ex. : saumons, anguilles et éperlans), mais également pour les poissons exclusivement dulcicoles.

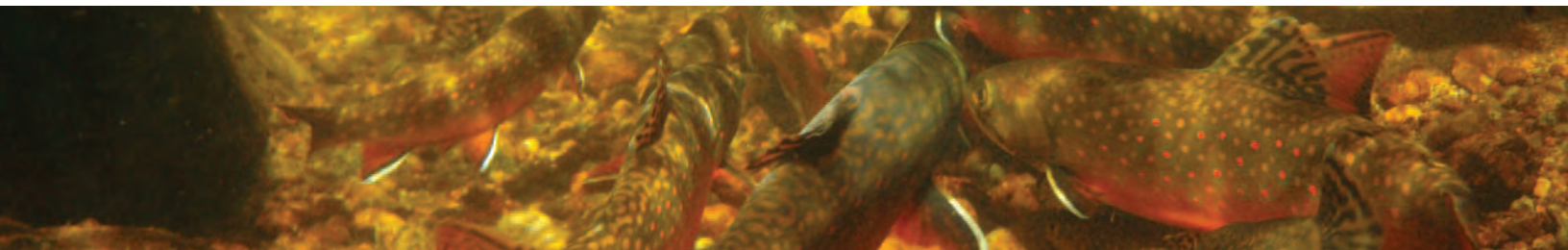
Les traversées de cours d'eau dont la conception n'intègre pas les considérations de libre passage du poisson peuvent entraver partiellement ou totalement les déplacements du poisson. Les éléments qui peuvent nuire au libre passage du poisson au site d'une traversée de cours d'eau (incluant la structure et les aménagements en amont et en aval de celle-ci) sont principalement les suivants :

- Vitesse excessive d'écoulement des eaux;
- Profondeur d'eau insuffisante (ex. : ponceau, enrochements aux extrémités);
- Création d'une chute d'eau ou d'un dénivelé trop important;
- Turbulence excessive.

Or, ces éléments résultent souvent de problèmes reliés aux caractéristiques physiques de l'ouvrage (ex. : dimensions, rugosité, élévation, pente, enfouissement) et à son installation.

■ ATTENTION

L'évaluation du besoin de libre passage du poisson est un élément primordial à considérer dès les premières étapes de la planification, en raison de son incidence potentielle sur l'orientation du projet et sur les critères de conception des traversées prévues. L'approche utilisée par le Ministère pour déterminer le besoin de passage du poisson est expliquée à la section 2.3 de ce document.



2.0



20

À L'ÉTAPE DE LA PLANIFICATION D'UN PROJET

On ne saurait trop insister sur les gains obtenus à court, moyen et long terme, lorsque l'on considère la protection des pêches et des espèces aquatiques en péril dès l'étape de la planification d'un projet d'infrastructures de transport impliquant une ou des traversées de cours d'eau.

2.1 Reconnaissance géomorphologique

Une reconnaissance géomorphologique devrait être réalisée dès le début de chaque projet. En effet, la compréhension des processus géomorphologiques des cours d'eau potentiellement touchés permet de cibler les sites propices ou non aux ouvrages de traversées. L'Annexe I présente des notions de géomorphologie utiles à cette démarche d'analyse. L'énergie investie à ce stade-ci est souvent largement justifiée par la diminution des coûts d'entretien ou de remplacement à moyen et long terme.

La reconnaissance géomorphologique devrait être réalisée à une échelle spatiale plus large que les sites de traversées envisagés. L'échelle temporelle devra quant à elle être étendue au passé, au présent et à la période de la vie utile des aménagements. De façon générale, un site de traversée de cours d'eau sera jugé non propice si les changements géomorphologiques anticipés contreviennent aux fonctions de l'ouvrage pendant sa durée de vie.

Les sites à éviter incluent d'une part les cours d'eau en équilibre dynamique, mais dont le niveau de mobilité (ex. : érosion des berges ou déplacement subit du cours d'eau) est important et pourrait compromettre la pérennité des aménagements ou engendrerait des coûts d'entretien prohibitifs. D'autre part, les tronçons de cours d'eau en déséquilibre, ou en ajustement en réponse à des perturbations, représentent des conditions risquées. Ces concepts sont expliqués à l'Annexe I.

La prise en compte de plusieurs des éléments de la reconnaissance géomorphologique peut se faire avant les visites sur le terrain, au moyen d'outils comme des cartes, des photos aériennes et Google Earth ^{MC}. Les éléments qui ne peuvent être considérés avec ces outils devraient être validés sur le terrain (Annexe II).

Dans la plupart des cas, il n'est pas nécessaire d'être spécialiste en géomorphologie pour procéder à ce type d'analyse. Cependant, dans le doute ou pour les cas complexes, il est recommandé de faire appel à des spécialistes.

2.2 Positionnement des infrastructures de transport

Au moment de planifier le tracé d'une nouvelle infrastructure de transport, les objectifs suivants devraient être pris en considération :

- Minimiser le nombre de traversées de cours d'eau;
- Éviter les secteurs où le contexte géomorphologique n'est pas propice à l'aménagement de traversées de cours d'eau (section 2.1);
- Favoriser les endroits déjà altérés (ex. : champs cultivés, friches, emprises) ou déboisés;
- Favoriser la localisation en tête de bassin versant (ou de sous bassin versant). Le risque de nuire au libre passage du poisson y est généralement moindre que dans la portion aval du bassin versant d'un cours d'eau. En effet, la quantité d'habitats en amont de l'ouvrage y est plus limitée et les possibilités d'obstacles naturels sont souvent plus élevées;
- Éviter les milieux d'eau saumâtre ou salée et les habitats aquatiques vulnérables, notamment les plaines inondables, les marais, les herbiers aquatiques et les habitats d'espèces à statut particulier;
- Localiser les traversées à plus de 200 mètres en amont d'une frayère, ou à 50 mètres en aval de celle-ci;
- Favoriser les secteurs peu fréquentés par les castors;
- Favoriser la localisation à proximité d'un obstacle naturel infranchissable;
- Favoriser le positionnement des chemins perpendiculairement aux cours d'eau.

Dans le cas d'une infrastructure de transport existante, ces principes sont valables même si les possibilités de les appliquer sont plus limitées.

2.3 Détermination du besoin d'assurer le libre passage du poisson

Le Ministère n'exige pas que toutes les traversées de cours d'eau assurent le libre passage du poisson. Le libre passage du poisson doit être maintenu, à moins qu'il ne soit démontré qu'il y a un obstacle naturel permanent au libre passage du poisson aux sites de traversées ou à proximité, ou encore, que l'habitat en amont soit peu abondant ou de faible qualité (ex. : un cours d'eau qui disparaît dans une tourbière ou sous un lit de blocs).

Les obstacles naturels permanents sont par exemple un dénivelé trop important, une chute infranchissable, une cascade d'importance ou une section de roche mère lisse et pentue sur une distance significative. Les barrages de castors et les débris ligneux ne sont pas considérés comme des obstacles permanents.

Il incombe aux promoteurs de recueillir les informations pertinentes permettant de déterminer si le libre passage du poisson est requis ou non à chacun des sites de traversées de cours d'eau.

2.3.1 Caractérisation des cours d'eau

La caractérisation vise à décrire les communautés de poissons qui fréquentent les cours d'eau à traverser, à déterminer les fonctions des habitats présents, à décrire les obstacles infranchissables naturels permanents, et ultimement à conclure si le libre passage du poisson est requis ou non à chacun des sites de traversées de cours d'eau.



Il existe plusieurs façons de caractériser l'habitat du poisson et il n'est pas toujours nécessaire de recueillir des données sur le terrain. En effet, la littérature ou des bases de données peuvent contenir des informations pertinentes sur le cours d'eau, les poissons qui le fréquentent et les habitats qu'on y trouve. Toutefois, en l'absence d'information suffisante, les promoteurs doivent s'assurer d'obtenir les données de terrain essentielles à la bonne compréhension des effets potentiels du projet sur le poisson et son habitat.

En général, les renseignements à recueillir sur le poisson et son habitat afin de déterminer le besoin de libre passage du poisson dans les ouvrages de traversées sont, sans s'y limiter:

- La liste des principales espèces de poissons présentes ou susceptibles de fréquenter le cours d'eau. Il est possible que l'information sur ces espèces ne soit pas disponible pour un cours d'eau spécifique mais qu'elle le soit pour un cours d'eau du même bassin versant. À défaut de fournir des informations sur les espèces de poissons susceptibles de fréquenter le site où ont lieu les travaux, le Ministère considère généralement que l'ensemble des espèces de poissons trouvées ailleurs dans le bassin versant sont susceptibles de s'y retrouver;
- La liste détaillée des espèces aquatiques en situation précaire au fédéral et au provincial. Pour déterminer si ces espèces sont présentes ou susceptibles de l'être dans le milieu aquatique où sont prévus les travaux, le promoteur peut consulter le [Registre public des espèces en péril](#) ou faire une demande auprès du [Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec](#). À défaut de fournir ces informations, le Ministère considère généralement que les espèces en situation précaire trouvées ailleurs dans le bassin versant sont également susceptibles de fréquenter le cours d'eau touché par les travaux;
- Une caractérisation sommaire des habitats du poisson et leurs fonctions (ex. : alevinage, abri, reproduction) dans le tronçon de cours d'eau visé par les travaux. Entre autres, la présence de frayères potentielles ou confirmées doit être précisée. Les descriptions devront être accompagnées de photographies et d'une carte de localisation;
- L'identification et la caractérisation des obstacles rocheux d'origine naturelle ou anthropique à proximité du site de traversée. Les informations à recueillir incluent notamment la nature de l'obstacle, sa pente, sa hauteur, la présence d'un bassin, les caractéristiques de l'écoulement.

Ces inventaires seront également utiles si le Ministère doit procéder à l'examen réglementaire du projet.

■ **SUR QUELLE DISTANCE DOIT-ON CARACTÉRISER LE COURS D'EAU?** ■

Il n'y a pas de règle relative à la distance à inventorier dans le cours d'eau, celle-ci variant selon la situation, notamment selon l'hétérogénéité des habitats présents. Dans la plupart des cas, l'inventaire doit couvrir chacun des sites des traversées de cours d'eau projeté, en plus d'une distance allant généralement jusqu'à 200 mètres vers l'amont et vers l'aval. Cette recommandation en matière de distance s'applique à l'extérieur des zones influencées par la présence d'un ouvrage anthropique (ex. : ponceau et seuil) ou d'un barrage de castors, le cas échéant.

2.3.2 Décisions et prochaines étapes

L'évaluation du besoin d'assurer le libre passage du poisson est un élément clé dans le choix du type d'ouvrage requis (passable ou non), pour chacune des traversées de cours d'eau. Les caractéristiques de l'habitat du poisson et la présence ou non d'obstacles infranchissables sont les éléments essentiels qui devront être considérés par les promoteurs pour déterminer le besoin ou non d'assurer le libre passage du poisson.

- Si le promoteur est d'avis que le libre passage n'est pas requis aux sites de traversée de cours d'eau, il devra communiquer ses justifications au Ministère lors de sa demande d'examen de projet, le cas échéant.
- Si le promoteur est d'avis que le libre passage est requis aux sites de traversée, le choix de l'approche et la conception des aménagements devraient respecter les lignes directrices présentées dans les prochains chapitres. Toutefois, le promoteur peut également proposer d'autres critères de conception au Ministère s'il juge que ceux-ci respectent l'objectif de libre passage du poisson.

3.0





Maintenant que les traversées où le libre passage du poisson doit être assuré sont ciblées, il faut concevoir l'ensemble des aménagements afin d'atteindre cet objectif.

Les éléments de conception d'une nouvelle traversée de cours d'eau ou d'un remplacement d'ouvrage sont globalement les mêmes, mis à part quelques précautions supplémentaires qui sont requises dans les projets de remplacement. Entre autres, la géomorphologie du tronçon du cours d'eau a peut-être été modifiée artificiellement dans le passé par la présence de la structure existante. Les ajustements du cours d'eau à la suite du remplacement du ponceau devront être anticipés et considérés dans la conception en tenant compte de cette différence.

Un inventaire détaillé devrait être réalisé préalablement à la conception d'un nouveau ponceau ou au remplacement d'un ponceau existant. Les détails cet inventaire physique sont présentés à l'Annexe II. Les informations requises sont complémentaires à celles recueillies à l'étape de la planification du projet (sections 2.1 et 2.3.1).

Il existe différentes approches de conception d'une traversée de cours d'eau. Leur efficacité à assurer le libre passage du poisson à long terme peut varier, en particulier selon les caractéristiques du cours d'eau dans lequel les aménagements seront réalisés. Les ouvrages de traversée peuvent être classés en deux catégories : les ponts et les ponceaux. Un pont est constitué généralement d'un tablier reposant sur deux culées, avec ou sans pilier. Un ponceau est un ouvrage sur lequel repose un remblai qui sert d'assise à la route, contrairement à un pont qui ne nécessite pas de remblai.

L'absence de remblai fait en sorte que les ponts sont moins larges que les ponceaux pour la même largeur de route, réduisant les impacts à de plus courts tronçons de cours d'eau. Outre le fait que les ponts ont généralement moins d'impacts pour l'habitat du poisson, ils offrent comme principal avantage de préserver une partie du cours d'eau naturel et occasionnent généralement peu de modifications des conditions hydrauliques du cours d'eau susceptibles de nuire au déplacement des poissons. Les ponts sont également les ouvrages recommandés pour les tronçons à géomorphologie instable ou à **ratio d'encaissement** élevé (larges plaines de débordement), ou pour un cours d'eau de largeur importante.

Quant aux ponceaux, ils peuvent être classés en ponceaux à contour ouvert (ex. : portiques, arches, ponceaux voûtés) et ponceaux à contour fermé (ex. : circulaires, rectangulaires, arqués).

Les ponceaux à contour ouvert peuvent être construits sur semelles ou reposer sur un radier. Parmi tous les types de ponceaux, le Ministère privilégie l'utilisation d'un ponceau à contour ouvert et sans radier puisqu'il permet notamment de maintenir plus facilement les conditions naturelles d'écoulement de l'eau (vitesse et profondeur) en conservant les caractéristiques physiques du cours d'eau existant (rugosité du substrat, **pente**, largeur). Dans ce chapitre, les approches adaptées aux ponceaux à contour ouvert sont le ponceau en arche et la simulation de cours d'eau.

Bien que les ponceaux à contour fermé représentent un plus grand risque pour le libre passage du poisson, ils peuvent quand même être conçus de manière à atteindre cet objectif. Trois approches permettant d'assurer le libre passage du poisson sont présentées dans ce chapitre : les ponceaux à simulation de cours d'eau (tout comme les ponceaux à contour ouvert), les ponceaux à refoulement et les ponceaux à déversoirs.

Les éléments de conception de la présente section peuvent généralement être utilisés également pour concevoir des ouvrages temporaires de traversée de cours d'eau. Toutefois, en fonction de la durée et de la période pendant lesquelles l'ouvrage est en place et du besoin de passage, certains ajustements pourraient être appropriés et devraient être analysés au cas par cas.

Le tableau 3.1 permet de faire une sélection d'approches envisageables selon le cours d'eau et l'ouvrage requis. Les cases vertes signifient que l'approche peut généralement être utilisée dans ces contextes. Dans la présente section du document, les critères sont encore généraux. Des précisions seront apportées directement dans les sections portant sur chacune des approches.

TABEAU 3.1 - SÉLECTION DES APPROCHES ENVISAGEABLES

		PENTE DU COURS D'EAU ET STYLE FLUVIAL			
		≥ 3 %	≤ 3 %	≤ 1.5 %	≤ 0.1 %
		Cascades Marches-Cuvettes	Lit uniforme Seuils-mouilles		Rides-dunes
PONT (3.1^a)					
PONCEAU	En arche court (3.2)				
	À simulation de cours d'eau (3.3)				
	À refoulement (3.4)			b	
	À déversoirs (3.5)				

^a Les chiffres entre parenthèses réfèrent aux sections du document.

^b La pente maximale est fonction de la longueur et du type de ponceau.

Les approches recommandées ne sont pas les seules qui peuvent permettre d'atteindre l'objectif d'assurer le libre passage du poisson. Si d'autres approches sont envisagées, une justification devrait être présentée au Ministère lors du dépôt de la demande d'examen, avec l'ensemble des informations utilisées (ex. : hypothèses, données, calculs, modélisations). Avant d'amorcer cette démarche, le promoteur doit être conscient que si les informations et les justifications ne satisfont pas le Ministère, une autre conception devra être développée. Il est important de mentionner qu'une approche de précaution devrait être utilisée lors de la conception pour tenir compte des incertitudes.

3.1 Pont

Le Ministère privilégie le pont parmi tous les types d'ouvrages pour assurer le libre passage du poisson puisqu'il est celui qui permet le mieux de maintenir les conditions naturelles d'écoulement en conservant les caractéristiques physiques du cours d'eau existant, soit le substrat, la **pente** et la largeur. Par ailleurs, les ponts nécessitent moins de caractérisation du milieu, de particularités de conception et de suivi en lien avec le libre passage du poisson.

Les ponts à portée libre dont toutes les composantes enjambent complètement un cours d'eau sans en modifier le lit ou les berges, y compris pendant la construction, ont peu ou pas d'impact sur le poisson et son habitat.



Lorsqu'une partie des structures d'un pont ou ses matériaux de protection empiètent sur le lit ou les berges pour diverses raisons (ex. : coûts, dégagement vertical, portée), le passage du poisson pourrait être affecté si les conditions hydrauliques étaient modifiées.

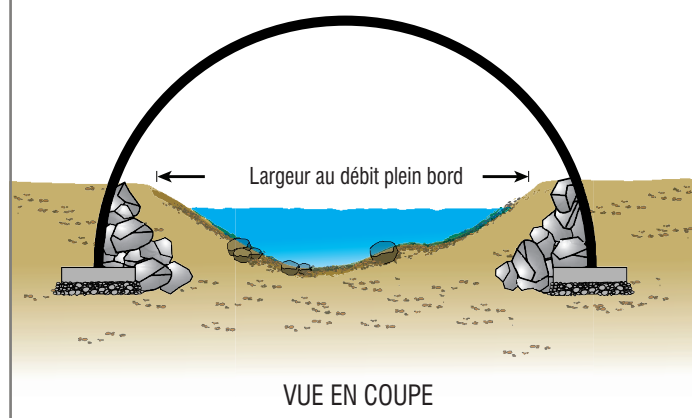


3.2 Ponceau en arche court

Parmi tous les types de ponceaux, le Ministère privilégie l'utilisation d'un ponceau à contour ouvert pour assurer le libre passage du poisson, comme le ponceau en arche, parce qu'il permet de maintenir les conditions naturelles d'écoulement de l'eau en conservant les caractéristiques physiques du cours d'eau existant, soit le substrat, la **pente** et la largeur.



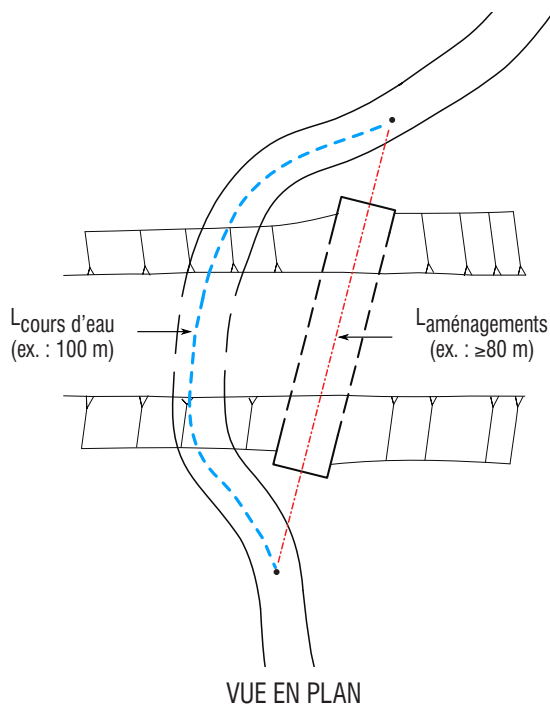
FIGURE 3.1 - PONCEAU EN ARCHE COURT



Si le promoteur désire utiliser un ponceau en arche de longueur inférieure à 25 mètres, les critères suivants devraient être respectés :

- Le tronçon du cours d'eau naturel devrait être relativement rectiligne;
- Le ponceau devrait être installé dans l'axe naturel du cours d'eau. La longueur totale des aménagements devrait se situer entre 80 % et 120 % de la longueur du tronçon du cours d'eau naturel modifié par les travaux. Les deux distances devraient être mesurées à partir des points de jonction avec le cours d'eau naturel non touché par les travaux (voir figure 3.2);

FIGURE 3.2 - LIMITES DE LINÉARISATION DU COURS D'EAU



Adapté de FSSSWG (2008)

- Le ratio de la longueur du ponceau sur la largeur au **débit plein bord** (LDPB) devrait être inférieur à 10. La LDPB retenue devrait être la moyenne de quatre mesures représentatives de la largeur du cours d'eau naturel au site de la traversée, toujours en dehors des zones affectées par la présence de ponceaux, de barrages de castors, etc.;
- La portée (largeur) du ponceau à contour ouvert devrait être égale ou supérieure à la LDPB à laquelle on doit ajouter l'espace requis pour les enrochements de protection, de part et d'autre du chenal au débit plein bord;
- Les semelles de fondation en acier, en bois ou en béton devraient être :
 - Continues et fixées sur la pleine longueur du ponceau;
 - Enfouies à une élévation égale ou inférieure à celle du **thalweg** (c'est-à-dire le point le plus bas) du cours d'eau naturel, ou plus profondément s'il y a risque **d'érosion régressive**. S'il y a présence de roc avant d'atteindre cette profondeur, les semelles doivent y être ancrées;
 - Déposées sur une surface plane et consolidée (cousin de gravier compacté);
 - Protégées avec de l'empierrement résistant aux crues de conception.

- Lorsque le lit du cours d'eau naturel est détruit partiellement ou entièrement par les travaux, réaménager le lit en respectant les conditions suivantes :

- Utiliser des matériaux hétérogènes similaires à ceux constituant le lit du cours d'eau naturel (matériel arrondi avec une granulométrie étalée et continue). Inclure assez de substrats de grand calibre pour assurer la stabilité et assez de particules fines (5 à 10 % de particules fines inférieures à 80 μm) pour minimiser le débit interstitiel. Si des matériaux provenant du lit excavé lors des travaux sont réutilisés, exclure les débris ligneux, la matière organique et la terre végétale;

- Profiler un chenal d'étiage (thalweg) représentatif du cours d'eau naturel pour concentrer les eaux en période de faible débit;

- Incorporer des blocs de diamètre équivalent à 1,5 fois le calibre maximal des pierres retrouvées dans le cours d'eau naturel pour augmenter la résistance du lit. Des blocs placés en alternance à tous les 5 à 10 mètres et enfouis à une profondeur équivalente à 30 % de leur diamètre sont souvent adéquats. Pour plus de détails sur les quantités maximales à incorporer, voir la section 3.3.4.1;

- Nettoyer la couche de surface avant la remise en eau pour limiter l'introduction de matières en suspension dans le cours d'eau. Toute augmentation du débit devrait être graduelle pour permettre l'ajustement et l'imbrication des substrats du lit recomposé. Les eaux de lavage doivent être pompées hors de la zone de travail vers des zones de végétation situées à plus de 20 m du début du peuplement qui borde le cours d'eau. L'eau doit être claire avant d'ouvrir le batardeau situé en aval du ponceau et de retirer tous les dispositifs d'assèchement de la zone de travail;

- Au besoin, stabiliser l'ajustement du **profil en long** pour prévenir une érosion régressive. Une attention particulière devrait être accordée à cet aspect si des éléments stables, tel un seuil naturel, ont été touchés par les travaux, ou si le **ratio de pentes** (RP) est fortement positif.

Si le promoteur désire utiliser un ponceau à contour ouvert de longueur supérieure à 25 mètres, les critères des ponceaux à simulation de cours d'eau (section 3.3) devraient être utilisés.

PONCEAU EN ARCHE COURT

EN RÉSUMÉ

✓	PENTE COURS D'EAU	Pas de restriction
✓	POSITIONNEMENT PONCEAU	Dans l'axe du cours d'eau
✓	LONGUEUR PONCEAU	<div>✓ ≤ 25 m</div> <div>✓ $L_{\text{ponceau}}/LDPB \leq 10$</div>
✓	PORTÉE PONCEAU	\geq LDPB + largeur de l'enrochement des 2 côtés
✓	SEMELLES	<div>✓ Continues</div> <div>✓ Enfouies sous le thalweg</div> <div>✓ Protégées</div>
✓	RÉAMÉNAGEMENT DU LIT	<div>✓ Stable</div> <div>✓ Étanche (granulométrie continue et étalée avec 5-10 % de particules $\leq 80 \mu\text{m}$)</div> <div>✓ Chenal d'étiage représentatif du cours d'eau naturel</div> <div> <div>✓ Blocs :</div> <ul style="list-style-type: none"> • $\geq 1,5$ fois le D_{100} du cours d'eau • Enfouis de 30 % de leur diamètre • En alternance aux 5 à 10 m </div>

3.3 Ponceau à simulation de cours d'eau

Il existe une abondance de termes qui réfèrent à des approches de « simulation de cours d'eau » et qui partagent des concepts communs notamment simulation de cours d'eau, simulation géomorphologique, simulation hydraulique et chenaux rugueux. L'objectif principal d'une simulation de cours d'eau est de maintenir ou de recréer les conditions naturelles du cours d'eau à l'intérieur de l'ouvrage afin de conserver les caractéristiques de l'écoulement naturel. L'approche par simulation de cours d'eau repose sur l'hypothèse selon laquelle les poissons qui peuvent se déplacer dans le cours d'eau naturel pourront le faire également dans un ouvrage présentant des caractéristiques similaires. La simulation de cours d'eau peut être utilisée dans des ponceaux à contour fermé et à contour ouvert.

L'approche la plus connue, la simulation de cours d'eau à substrats mobiles, vise à reproduire l'apparence et les fonctions du cours d'eau en place, ce qui suppose le maintien de la continuité amont-aval de l'ensemble des processus géomorphologiques qui caractérisent le cours d'eau. Le substrat du ponceau qui est transporté vers l'aval doit donc être remplacé par du substrat provenant de l'amont.

La simulation de cours d'eau à substrats fixes, ou simulation de cours d'eau hybride, emprunte des concepts à différents

types de simulation de cours d'eau. La simulation de cours d'eau hybride vise à reproduire les caractéristiques d'un cours d'eau naturel pour une **pente** donnée, notamment en ce qui a trait à la forme du lit, mais pas au regard de la mobilité du substrat. À la manière d'un chenal rugueux, le calibre du substrat est dimensionné de manière à être immobile dans le ponceau.

La simulation de cours d'eau hybride (ou à substrats fixes) est préconisée par le Ministère dans les ponceaux installés sur

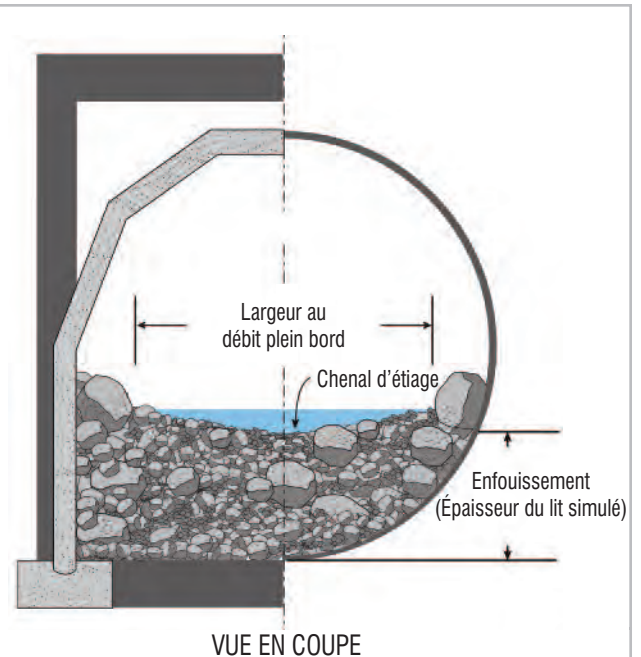
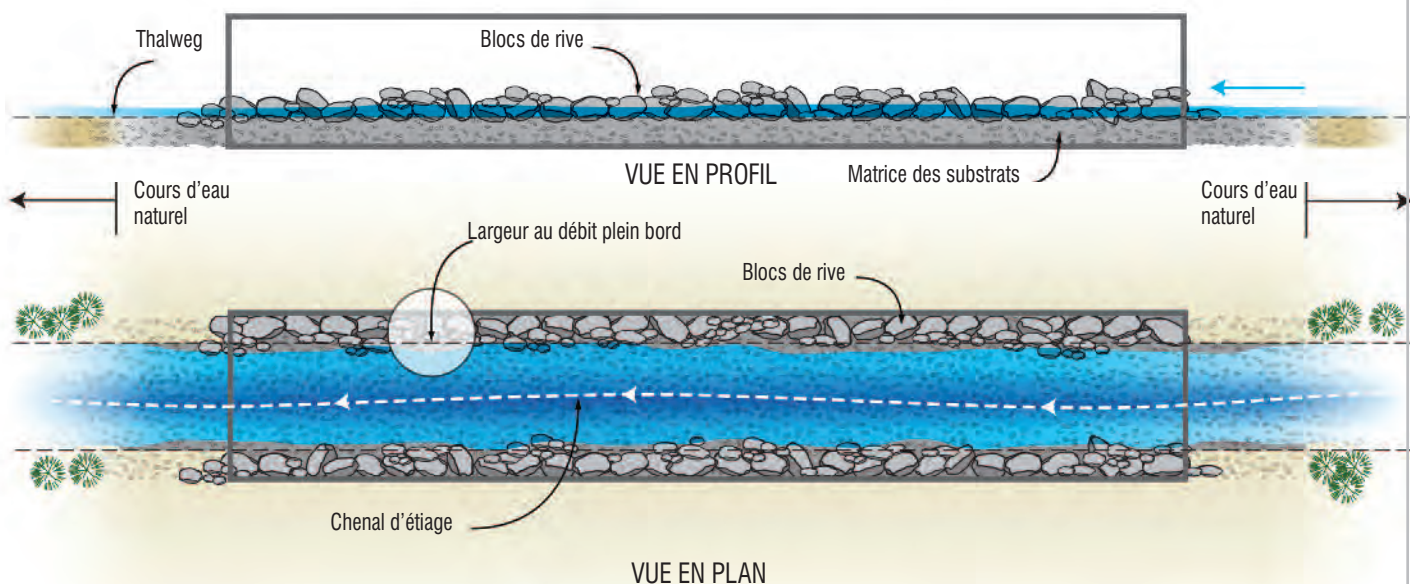


FIGURE 3.3 - PONCEAU À SIMULATION DE COURS D'EAU





des cours d'eau dont la pente est inférieure à 3 %. La simulation de cours d'eau à substrats fixes a été favorisée en raison de sa prévisibilité et pour faciliter la conception et la construction. Dans la suite du document, l'expression « simulation de cours d'eau » référerait donc à cette approche, illustrée sur la figure 3.3. Les zones situées directement en amont et en aval de la structure devraient être aménagées en utilisant les mêmes concepts qu'à l'intérieur de la structure. De plus, les raccordements devraient s'harmoniser avec le cours d'eau naturel.

Parmi les cours d'eau de pente inférieure à 3 %, les cours d'eau à lit sableux avec rides et dunes (pente presque nulle) qui ont un apport important de sédiments de l'amont, représentent une exception à la recommandation du Ministère. En effet, dans ces circonstances, le recours à une approche à substrats fixes n'est généralement pas nécessaire pour assurer la présence de sédiments dans le ponceau. La simulation de cours d'eau à substrats fixes peut quand même être appliquée dans ce type de cours d'eau si d'autres raisons justifient d'y avoir recours. Les ponceaux en arche court, à refoulement, ou la simulation de cours d'eau à substrats mobiles (Barnard et al. (2013), FSSSWG (2008)) sont des approches adaptées à ce type de cours d'eau. Il faut toutefois rappeler que les

cours d'eau à rides et dunes sont souvent localisés dans des larges plaines alluviales où le degré de confinement est faible et que les écoulements hors du chenal principal sont importants lors des crues, conditions qui peuvent justifier le recours à un pont ou à la mise en place d'aménagements complémentaires (ex. : ponceaux de débordement dans la plaine inondable pour prévenir le lessivage des substrats, surdimensionnement pour accommoder une sédimentation excessive).

En outre, les recommandations, critères et balises présentés dans les sections qui suivent devraient être respectés lors de la conception d'un ponceau à simulation de cours d'eau. Lorsque cela est impossible, une approche différente devrait être envisagée (voir le tableau 3.1).

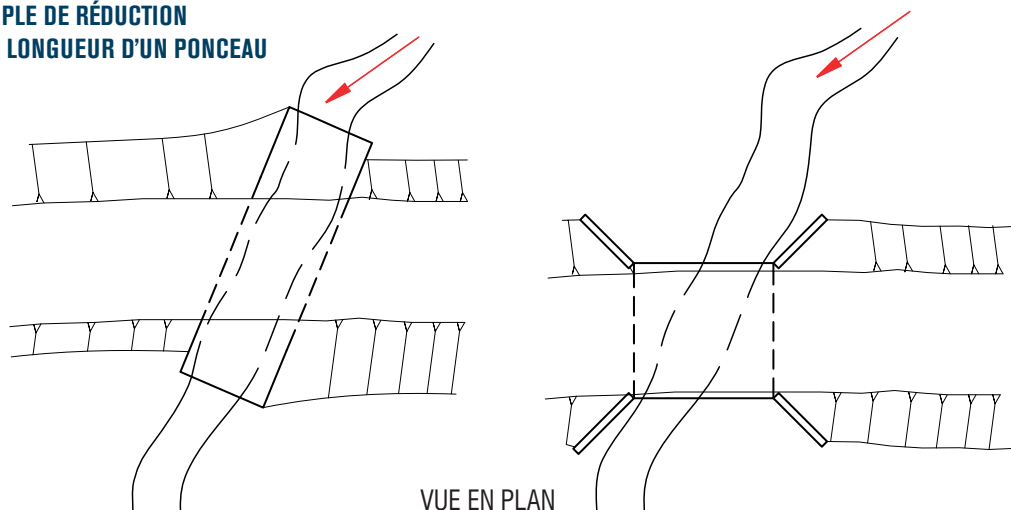
3.3.1 Positionnement du ponceau

Il est nécessaire de comprendre les processus géomorphologiques du cours d'eau à une échelle plus large que la traversée elle-même pour accomplir adéquatement l'étape importante du positionnement du ponceau à simulation de cours d'eau.

Les positionnements en plan et en profil devraient être abordés ensemble, car ils sont interdépendants. Par exemple, la linéarisation (en plan) par la diminution de la **sinuosité** peut occasionner un raccourcissement du cours d'eau et une augmentation de sa pente (en profil), ce qui entraîne des vitesses d'écoulement plus élevées et une énergie plus importante dans le ponceau.

Il est toujours préférable de suivre le plus fidèlement possible le tracé naturel du cours d'eau, autant sur la vue en plan que sur le profil longitudinal. Dans le cas de l'installation d'un ponceau dans une section de cours d'eau déjà modifiée,

FIGURE 3.4 - EXEMPLE DE RÉDUCTION DE LA LONGUEUR D'UN PONCEAU



l'alignement initial du cours d'eau naturel peut être déduit par la présence de dépressions qui correspondent à l'ancien chenal, ou à partir d'anciennes photographies aériennes.

Il est important également de minimiser la longueur du ponceau. En effet, plus le ponceau est long, plus il risque de linéariser le cours d'eau, et plus il risque de causer l'épuisement des poissons qui tentent de le traverser. La longueur du ponceau peut être réduite, par exemple, avec des murs en ailes, des murs de soutènement, en élargissant le ponceau ou en diminuant la hauteur du remblai (figure 3.4). D'ailleurs, si le ratio de la longueur du ponceau (L_{ponceau}) sur la largeur au **débit plein bord** (LDPB) excède 10, des mesures supplémentaires pour augmenter la dissipation d'énergie pourraient être requises (voir section 3.3.4).

3.3.1.1 En plan

Le positionnement idéal du ponceau est dans l'axe naturel du cours d'eau. Afin de limiter la linéarisation du cours d'eau, la longueur totale des aménagements devrait se situer entre 80 % et 120 % de la longueur du cours d'eau naturel modifié par les travaux (figure 3.2). La longueur se mesure le long du chenal d'étiage (**thalweg**) pour un cours d'eau naturel ou reconstitué, et le long du centre-ligne pour une structure. Les deux distances sont mesurées à partir des points de jonction avec le cours d'eau naturel non touché par les travaux.

Un mauvais enlignement avec le cours d'eau naturel peut causer une défaillance du ponceau, à la suite de l'accumulation de débris, par exemple. Une courbure du cours d'eau trop prononcée en amont d'un ponceau peut initier un dépôt de sédiments sur une berge et une érosion sur la berge opposée, ce qui peut entraîner également une diminution de la section utile du ponceau pour le transit de l'eau, des glaces ou des débris ligneux. Pour réduire les risques associés à un enlignement non optimal, les courbes ne devraient pas être plus serrées que celles du cours d'eau naturel afin que les débris qui se déplacent dans le cours d'eau puissent aussi traverser les aménagements. Idéalement, les rayons de courbure des transitions devraient être supérieurs à 5 fois la LDPB et ne jamais être inférieurs à 2 fois la LDPB.

3.3.1.2 En profil

Des modifications au profil du cours d'eau naturel sont à éviter en raison des impacts potentiels liés à l'érosion et au dépôt de sédiments, autant à l'intérieur qu'à l'extérieur du ponceau, ce qui pourrait éventuellement nuire au libre passage du poisson.

Le profil longitudinal du tronçon où sera installé le ponceau devrait donc être uniforme et sans bris de pentes. Il devrait également être limité par des points rigides (ex. : seuils, blocs glaciaires) en amont et en aval, c'est-à-dire limité par des éléments du cours d'eau qui seront stables durant la vie utile du ponceau.

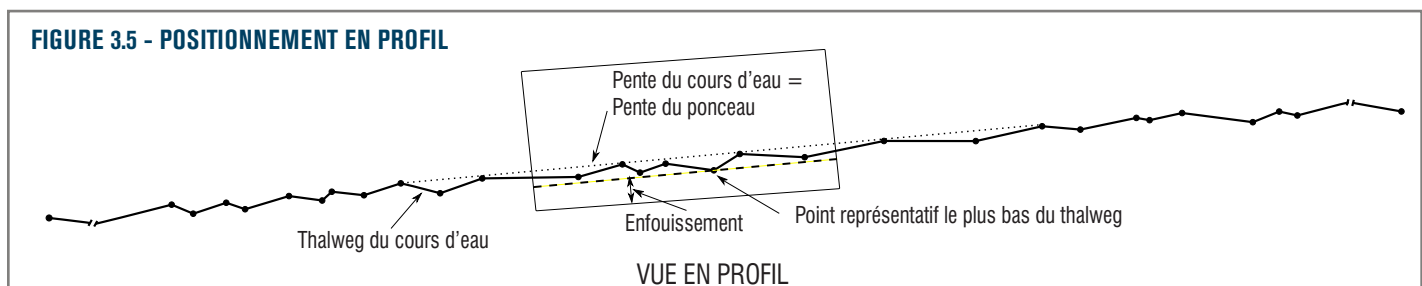
Tel qu'illustré sur la figure 3.5, le ponceau devrait adopter la même pente que le cours d'eau naturel au site de la traversée. Pour déterminer l'élévation du radier du ponceau, il s'agit de trouver le point le plus bas du thalweg naturel et d'y soustraire l'épaisseur du lit (voir figure 3.5 et section 3.3.2.2 e). Le point le plus bas du thalweg retenu pour le positionnement doit être représentatif de la géomorphologie du cours d'eau. Par exemple, une fosse créée par un ouvrage anthropique, comme un ponceau trop étroit, n'est pas représentative, et devrait être exclue. Avant l'assèchement de la zone des travaux, il importe de valider l'élévation du profil du cours d'eau naturel.

3.3.2 Lit simulé dans le ponceau

3.3.2.1 Styles fluviaux

Pour faciliter les travaux, l'approche présentée dans la suite du document est basée sur une matrice (mélange de substrats) simple et homogène sur la longueur du ponceau, car la construction de toutes les caractéristiques d'un cours d'eau à l'intérieur d'un ponceau linéaire peut représenter un défi considérable. Cette matrice peut être associée à un cours d'eau à lit uniforme (voir Annexe I) simple et non sinueux.

Par contre, les caractéristiques d'un cours d'eau naturel qui sont complexes à reproduire dans un ponceau (ex. : sinuosité et profil en vagues d'un cours d'eau à seuils-mouilles) sont

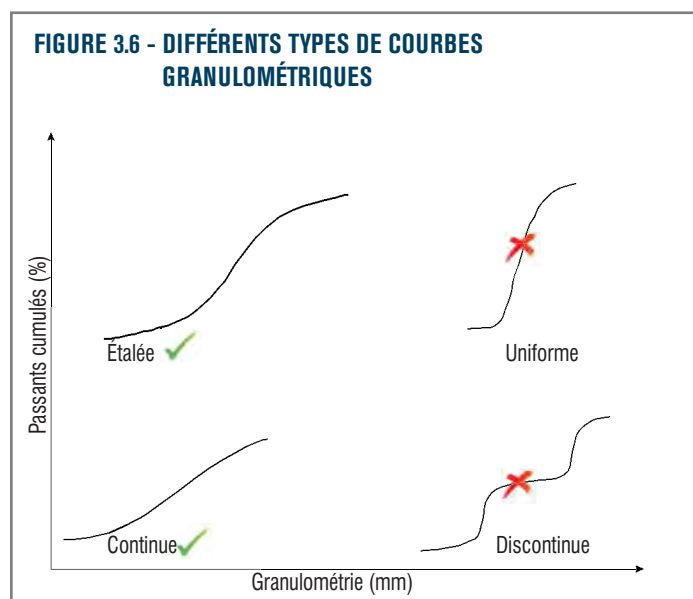


souvent importantes pour dissiper l'énergie et diversifier les opportunités de passage pour le poisson. C'est pourquoi, si un lit uniforme simple est simulé dans le ponceau, les caractéristiques du tronçon de référence (voir Annexe II) non reproduites devraient être remplacées, par exemple, par l'ajout de blocs ou l'élargissement de la structure (voir section 3.3.4).

Les situations qui occasionnent une réduction de la dissipation de l'énergie (ex. : perte de sinuosité) risquent davantage de se présenter dans les ponceaux longs ($L_{\text{ponceau}}/LDPB > 10$) et dans les cours d'eau à seuils-mouilles (voir Annexe I).

3.3.2.2 Matrice des substrats

Le mélange (ou la matrice) de substrats utilisé pour simuler le lit du cours d'eau peut être constitué de différents matériaux granulaires. La matrice de substrats utilisée pour simuler le lit du cours d'eau dans le ponceau devrait inclure une fraction suffisante de particules de gros calibre pour maintenir la stabilité du lit, ainsi que des particules de toutes tailles, incluant des particules fines, pour sceller le substrat et prévenir les écoulements interstitiels. Pour atteindre ces objectifs, la distribution granulométrique de la matrice des substrats devrait être continue et étalée (voir figure 3.6). En d'autres mots, la courbe granulométrique de la matrice des substrats devrait être répartie sur une grande plage et ne pas omettre de classes granulométriques.



a) Stabilité

Le cours d'eau simulé dans le ponceau doit être conçu pour être stable aussi longtemps que le ponceau demeure en place. Il doit donc résister à l'ensemble des conditions hydrau-

liques qui seront induites pendant cette période. Les principaux arguments qui soutiennent généralement le choix de la période de récurrence pour la conception des ponceaux sont d'ordre économique ou associés à des critères de sécurité. Les impacts d'une crue plus importante n'entraînent pas automatiquement une défaillance du ponceau. À l'opposé, une crue plus importante que la crue de conception du lit simulé peut lessiver les substrats, rendant le ponceau infranchissable pour le poisson. Ainsi, il est important que la crue de conception du lit simulé soit supérieure à la crue de conception du ponceau. L'utilisation d'une crue centennale est recommandée pour la conception du lit simulé dans le ponceau.

La stabilité des substrats est influencée par plusieurs propriétés (ex. : uniformité, imbrication, angulosité, présence d'un **pavage**) qui seront en outre amenées à évoluer au fil du temps. Pour des substrats hétérogènes imbriqués en surface, comme les cours d'eau naturels, la mobilisation du lit est généralement fonction de la taille du D_{84} . En d'autres mots, dans les cours d'eau naturels, 16 % des substrats sont plus gros que le calibre de la particule stable au seuil de mobilisation. Une initiation à certaines méthodes de calcul de la taille de sédiments naturels stables est présentée à l'annexe E du document FSSSWG (2008).

Dans le cadre de la simulation de cours d'eau, 16 à 20 % représentent donc les proportions minimales des substrats de la matrice qui devraient avoir un calibre supérieur au diamètre des sédiments qui seraient mis en mouvement à la crue centennale. Dans des conditions plus à risque (ex. : $L_{\text{ponceau}}/LDPB > 10$, **ratio de pente** (RP) fortement positif) ou mal quantifiées, une analyse spécifique devrait être réalisée pour déterminer si cette proportion devrait être augmentée.

Par ailleurs, la matrice devrait présenter une proportion inférieure à 25 % de sédiments plus petits que 2 mm (voir figure 3.8). En effet, au-delà de cette proportion, les propriétés de transport des substrats sont modifiées et c'est un peu comme si le sable (substrats ≤ 2 mm) venait lubrifier la matrice, diminuant ainsi sa stabilité.

b) Étanchéité

Le débit interstitiel, ou la perte d'eau au travers la matrice, devrait être limité afin que la profondeur d'eau soit suffisante pour assurer le libre passage du poisson. Pour ce faire, la distribution granulométrique de la matrice de substrats devrait être étalée et continue. Il s'agit de maximiser la diversité des calibres des particules pour remplir les vides de toutes les grosseurs à l'intérieur du mélange (voir figure 3.6). Différentes méthodes pourraient servir à développer une courbe granulométrique qui réponde à ces objectifs.

Des courbes granulométriques typiques de cours d'eau naturels, dont certaines sont disponibles dans la littérature, peuvent être utilisées pour choisir les ratios entre les différents calibres des sédiments du lit simulé. Les ratios suivants, tirés de Barnard et al. (2013), sont recommandés pour déterminer les calibres supérieurs de la matrice des substrats :

$$D_{100} = 2.5 D_{84} = 6.25 D_{50}$$

Une autre méthode consiste à utiliser l'équation de Fuller-Thompson (1907), conçue pour produire des mélanges denses :

$$P/100 = [D/D_{100}]^m$$

où **P** : pourcentage des particules de calibre inférieur à **D**;
D : calibre d'une particule;
D₁₀₀ : calibre de la plus grosse particule;
m : paramètre qui module la distribution granulométrique.

Les valeurs de **m** généralement recommandées se situent entre 0.45 et 0.7. Une valeur de 0.5 produit une matrice de densité maximale pour des particules arrondies. L'équation de Fuller-Thompson est recommandée pour la plage des calibres inférieurs au D_{stable} .

La figure 3.7 illustre les balises limites recommandées, basées sur Barnard et al. (2013) et de Fuller-Thompson (1907).

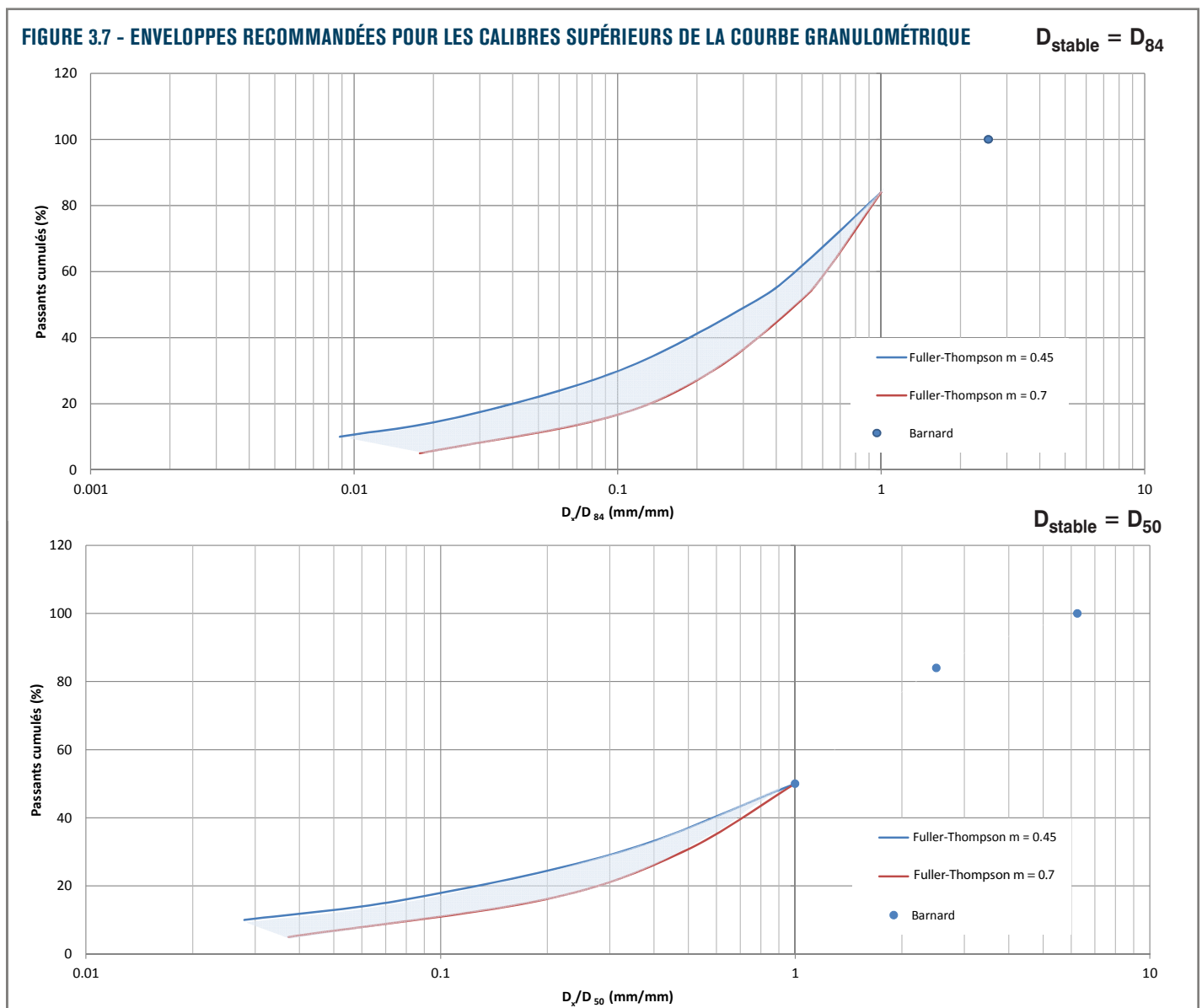
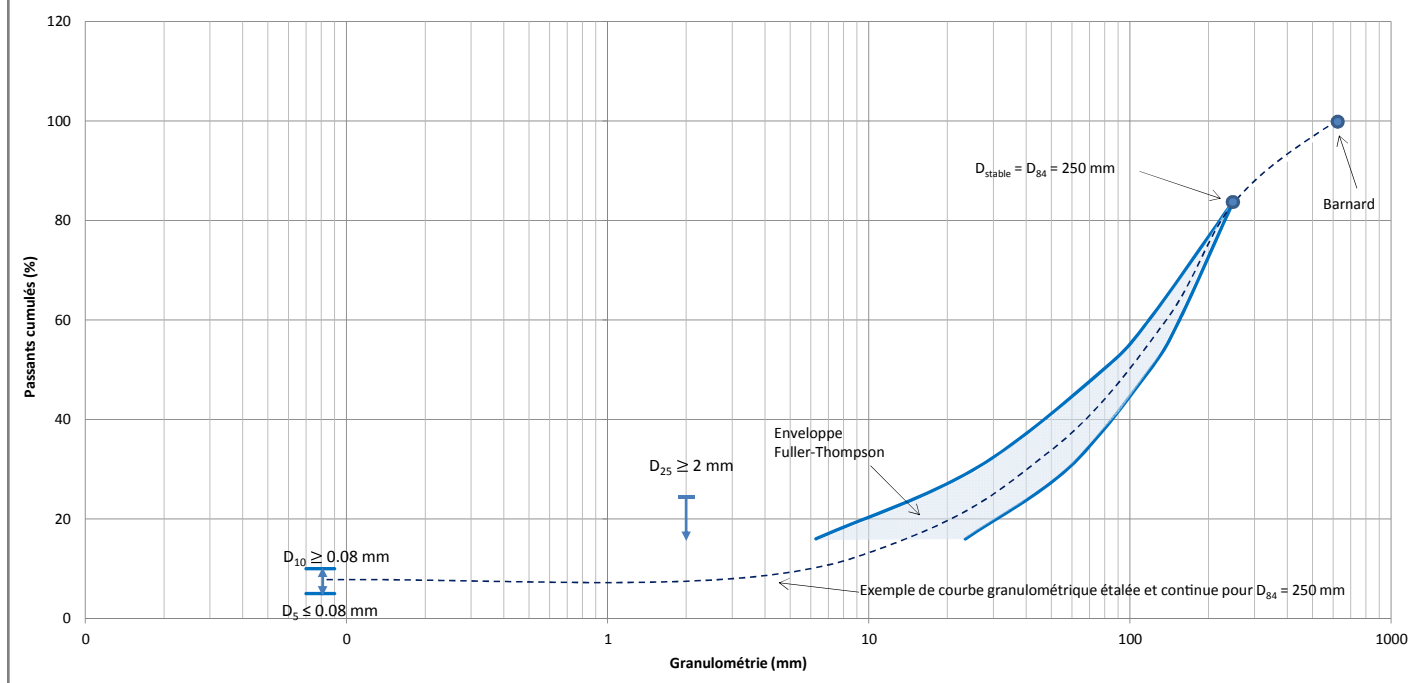


FIGURE 3.8 - ENSEMBLE DES BALISES RECOMMANDÉES**Exemple avec $D_{stable} = D_{84} = 250$ mm**

La matrice des substrats devrait également présenter un minimum de 5 à 10 % de particules fines de diamètre inférieur à $80 \mu\text{m}$. De plus, des transitions douces devraient être réalisées entre les différentes balises pour produire une courbe sans discontinuité.

La figure 3.8 illustre l'ensemble des balises recommandées pour la courbe granulométrique de la matrice des substrats, pour un exemple où la valeur du D_{84} calculé (qui résiste à la crue centennale) est de 250 mm.

Si les calibres obtenus sont supérieurs aux ordres de grandeur attendus, des ajustements pourraient être requis, au cas par cas, pour trouver un compromis réaliste. Tous les risques associés à la situation étudiée devraient être considérés lors de la conception. Une autre approche pourrait également être envisagée (voir tableau 3.1).

c) Sources des substrats

Le lit simulé peut être réalisé à partir d'un emprunt provenant d'un dépôt naturel de till (sédiments glaciaires non stratifiés). En effet, les dépôts naturels de till présentent beaucoup d'avantages. Ils sont composés de particules arrondies et nécessitent peu de manipulations pour obtenir un mélange hétérogène à granulométrie continue et étalée. Leur utilisation est donc souvent plus économique que l'utilisation d'un substrat recomposé et donne des résultats équivalents, sinon meilleurs.

Le lit peut également être constitué d'un mélange de différents matériaux granulaires, dans la mesure où ils couvrent l'ensemble de la plage D_0 - D_{100} . L'ajustement des proportions des différentes composantes (ex. : nombre de godets, volume, masse) doit donner un mélange dont la granulométrie globale sera continue et étalée et respectera les balises énoncées dans les paragraphes précédents. Certains matériaux rejetés pour la construction de l'infrastructure, parce qu'ils ne répondent pas à toutes les normes applicables, pourraient être utilisés dans la matrice des substrats, ce qui pourrait représenter une solution économique.

La simulation de cours d'eau nécessite un calibre de sédiments qui est supérieur à la distribution granulométrique du cours d'eau en place. Néanmoins, le substrat du lit excavé dans le segment du cours d'eau modifié par les travaux peut être récupéré et utilisé dans la composition de la matrice des substrats. Ceci contribue à reproduire un tri représentatif des milieux naturels, mais aussi des caractéristiques similaires au niveau de la forme et de l'émoussé des pierres. L'utilisation de substrat naturel peut favoriser le développement d'une organisation des sédiments en surface lors de la consolidation du lit, par exemple en favorisant l'imbrication des particules sur le lit. Les débris ligneux, les matières organiques et la terre végétale sont toutefois à exclure.

Peu importe la source d'approvisionnement, la granulométrie du mélange devrait être caractérisée. Une analyse granulométrique standard devrait être effectuée sur la partie inférieure

à 125 mm. La granulométrie de la partie plus grossière devrait être évaluée avec une méthode appropriée (ex. : comptage, évaluation visuelle).

d) Chenal d'étiage

La construction d'un chenal d'étiage a pour but de concentrer le débit afin que le niveau d'eau dans les aménagements soit toujours au moins équivalent à celui qui prévaut à la même période dans le cours d'eau naturel. Le profil du chenal d'étiage devrait être représentatif (forme et dimensions) du tronçon de référence (voir Annexe II). Un chenal d'étiage en forme de «V» avec une pente de 1V : 5 H est généralement acceptable. La profondeur requise pour le chenal d'étiage est généralement inférieure à 300 mm. Les jonctions entre les thalwegs du lit simulé et ceux du cours d'eau naturel devraient être en continuité.

e) Épaisseur minimale

Le terme enfouissement, couramment utilisé, a le même sens que l'épaisseur du lit simulé. Le terme enfouissement réfère au positionnement en profil du ponceau dans le cours d'eau.

L'épaisseur minimale (au thalweg) du lit simulé devrait être équivalente à 20 % de la largeur des ponceaux rectangulaires ou arqués et à 30 % du diamètre des ponceaux circulaires. Cette différence est recommandée car le lit reconstitué dans les ponceaux circulaires est moins stable en raison de leur base moins large.

Il est également important que les plus grosses particules soient imbriquées dans le lit. Une épaisseur supérieure aux critères du paragraphe précédent pourrait donc être requise pour atteindre cet objectif. L'épaisseur minimale serait d'environ 1.5 fois le D_{100} pour une imbrication optimale. Dans certains contextes particuliers, cette épaisseur pourrait être diminuée, mais elle ne devrait jamais être inférieure au D_{100} .

EXEMPLE DE TEST D'ÉTANCHÉITÉ DANS UN PONCEAU



Placement dans un ponceau de bandes composées de matériel à granulométrie étalée et continue (matrice).



Arrosage.



Pas de perte d'eau significative : test d'étanchéité concluant.

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

f) Mélange et test d'étanchéité

Concernant les méthodes pour combiner les différentes fractions de la matrice de substrats, le mélange préalable avant l'installation dans le ponceau présente l'avantage d'une étanchéité homogène et en profondeur. L'incorporation des particules fines au jet d'eau sous pression, une fois les autres fractions de la matrice installées dans le ponceau, pourrait également être acceptable, mais le temps requis pour atteindre des résultats satisfaisants pourrait être important. Un mélange préalable des fractions non fines pourrait quand même être nécessaire afin d'obtenir une courbe granulométrique continue.

Des ajustements du mélange peuvent être requis au chantier. Ainsi, il est toujours recommandé de réaliser un test d'étanchéité. Les photos à la page précédente présentent des exemples de méthodes pour réaliser un test d'étanchéité. Ces méthodes sont simples et ne nécessitent pas de quantification du débit interstitiel. L'appréciation qualitative d'une infiltration faible et lente est suffisante.

Avant la remise en eau, la couche de surface doit être nettoyée pour limiter l'introduction de matières en suspension dans le cours d'eau. Toute augmentation du débit (ex. : lavage, arrêt de la dérivation) devrait être graduelle pour permettre l'ajustement et l'imbrication des substrats du lit recomposé.

Pendant cette opération, les eaux de lavage doivent être dirigées vers un point bas de l'aire de travail. L'eau trouble doit être pompée hors de la zone de travail vers des zones de végétation situées à plus de 20 m du début du peuplement qui borde le cours d'eau ou décantée dans un bassin de sédimentation. Les eaux de lavage doivent être claires avant d'ouvrir le batardeau situé en aval du ponceau et de retirer tous les dispositifs ayant servi à assécher temporairement la zone de travail.

EXEMPLE DE TEST D'ÉTANCHÉITÉ À L'EXTÉRIEUR DU PONCEAU



Trou creusé dans le sol, puis tapissé de matériel à granulométrie étalée et continue (matrice).



Arrosage.



Pas de perte d'eau significative : test d'étanchéité concluant.

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

3.3.2.3 Rives

Des rives devraient être simulées dans le ponceau, par exemple au moyen de blocs additionnels à ceux de la matrice des substrats. Ce concept contribue à la reproduction de la rugosité naturelle du cours d'eau, au maintien de niveaux d'eau acceptables, et prévient l'écoulement préférentiel le long des parois de la structure ainsi que l'affouillement qui en résulte. Les rives devraient être continues et composées des blocs consolidés à l'aide de matériel de plus petit calibre. De plus, lors de la mise en place, il faut veiller à favoriser l'imbrication des blocs dans la matrice sous-jacente.

Le calibre minimal recommandé pour les blocs utilisés pour simuler des rives (D_{rives}) est le D_{100} de la distribution granulométrique de la matrice des substrats. Les blocs devraient être enfouis à une profondeur équivalant à au moins 30 % de leur diamètre.

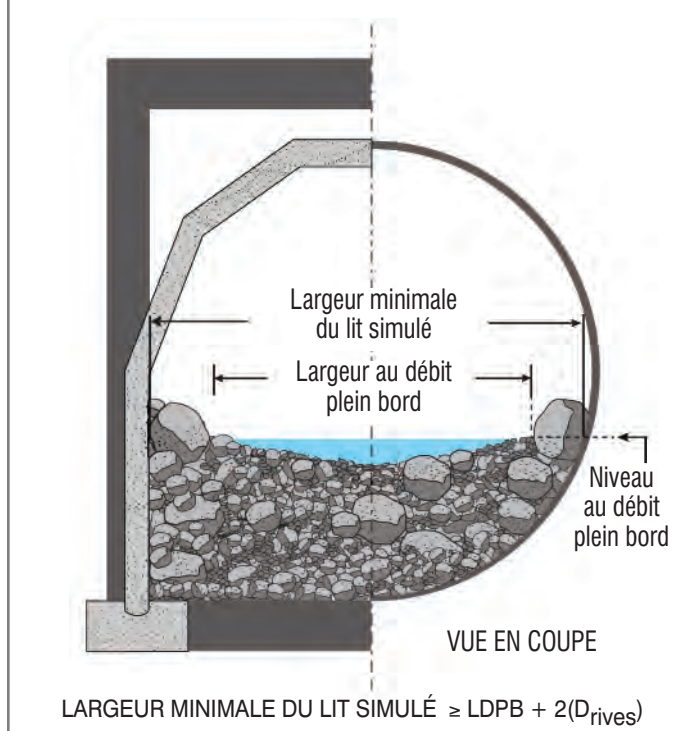
3.3.2.4 Blocs du tronçon de référence

Si des blocs de calibre supérieur à 200-250 mm sont observés dans le tronçon de référence (voir Annexe II), ils devraient également être ajoutés sur la matrice des substrats. Le nombre et la distribution des blocs incorporés dans la simulation devraient être conformes à ceux du tronçon de référence. Pour préserver le caractère protubérant des blocs, il faudrait toutefois ajuster leur taille ($D_{tronçon\ référence}$) en fonction de la distribution granulométrique projetée dans le ponceau. Les gros blocs excavés dans le segment du cours d'eau modifié par les travaux pourraient être utilisés si leur dimension est adéquate. Lorsqu'ils sont mis en place, il faut veiller à favoriser l'imbrication des blocs dans le substrat sous-jacent. Les blocs devraient être enfouis à une profondeur équivalant à au moins 30 % de leur diamètre.

3.3.3 Dimensions du ponceau

La largeur minimale du lit simulé (voir figure 3.9) devrait être égale ou supérieure à la LDPB à laquelle on doit ajouter l'espace requis pour les rives, de part et d'autre du chenal au DPB. Cette largeur minimale est primordiale pour la réussite d'une simulation de cours d'eau. Elle vise, entre autres, à diminuer les risques de dégradation ou d'affouillement du lit reconstitué et la génération de conditions hydrauliques non favorables au passage du poisson. La présence de parois rigides empêche le cours d'eau de s'élargir lors des crues, comme un cours d'eau naturel dans ses plaines de débordement. Ainsi, si le ponceau est trop étroit, la simulation de cours d'eau ne pourra modifier son lit qu'en creusant le substrat.

Il est à noter que la largeur du lit reconstitué dans un ponceau rond est plus petite que le diamètre du ponceau, à moins qu'il soit enfoui de 50 %. Pour un ponceau rectangulaire, la largeur du lit reconstitué est égale à la largeur du ponceau, peu importe son enfouissement.

FIGURE 3.9 - LARGEUR MINIMALE DU LIT SIMULÉ

Il est également important de prévoir des dimensions suffisantes pour la construction et l'entretien. Par exemple, si les dimensions du ponceau sont trop petites pour que la machinerie requise puisse y travailler, un ponceau à sections composées pourrait être une solution intéressante permettant de construire la simulation de cours d'eau à ciel ouvert dans les sections inférieures de la structure, avant de poser les sections supérieures.

D'autres circonstances peuvent nécessiter le choix d'un ponceau plus large, par exemple :

- Un cours d'eau qui présente une large plaine inondable. La sélection d'un ponceau plus large pourrait être jumelée à l'ajout de ponceaux de débordement;
- Un cours d'eau naturel qui présente une migration latérale;
- Lorsqu'un élargissement du chenal est anticipé dans le futur (voir la trajectoire géomorphologique, Annexe I).

3.3.4 Ajustements dans les cas de surplus d'énergie à dissiper

Dans certains cas, la simulation de cours d'eau conçue selon les recommandations des sections précédentes ne permet pas de dissiper l'énergie au même taux que le cours d'eau naturel, menant à des accélérations et de l'affouillement. Il est

important de dissiper cet excès d'énergie pour que la simulation soit durable et que le libre passage du poisson soit assuré. L'objectif est que l'énergie cinétique soit la même à l'entrée qu'à la sortie du ponceau, ce qui signifie qu'il ne doit pas y avoir d'accélération, la vitesse devant demeurer constante. Les paramètres qui influencent la vitesse dans un écoulement uniforme sont la géométrie de la section d'écoulement ainsi que la pente et la rugosité du cours d'eau simulé. Comme la pente devrait déjà avoir été optimisée lors du positionnement, les éléments sur lesquels il est encore possible d'agir sont la rugosité et la géométrie de la section d'écoulement.

Les cas les plus susceptibles de présenter un excès d'énergie sont les ponceaux longs ($L_{\text{ponceau}}/\text{LDPB} > 10$). En effet, il est plus probable que ces ponceaux linéaires occasionnent la perte de caractéristiques du cours d'eau naturel qui contribuent à la dissipation d'énergie, comme la sinuosité. Par ailleurs, les conséquences d'une erreur lors de la conception ou de la construction sont amplifiées avec les ponceaux longs. Les ponceaux longs installés dans un cours d'eau à seuils-mouilles sont ceux qui sont les plus sujets à réduire la dissipation d'énergie et donc à nécessiter des mesures particulières pour dissiper l'énergie.

3.3.4.1 Augmentation de la rugosité

La première option présentée pour augmenter la dissipation d'énergie est l'ajout de blocs supplémentaires dans le lit simulé. Toutefois, l'utilisation de blocs ne devrait pas être systématique. Par exemple, l'ajout de blocs n'est pas recommandé dans les cours d'eau qui n'en présentent pas naturellement.

La taille des blocs devrait être de $6.25D_{50}$ et il faut veiller à favoriser leur imbrication dans le substrat sous-jacent. Les blocs devraient être enfouis à une profondeur équivalente à au moins 30 % de leur diamètre.

De façon générale, il faut éviter d'aligner les blocs les uns derrière les autres, car les obstacles qui génèrent des perturbations hydrauliques isolées ou les obstacles situés trop près les uns des autres sont moins efficaces pour la dissipation d'énergie. Les dispositions en alternance dans le $\frac{3}{4}$ central du lit simulé entre les rives devraient être favorisées. Des dispositions aléatoires de blocs répartis sur l'ensemble du lit simulé pourraient également être efficaces. Il faut éviter de placer des blocs dans le thalweg pour ne pas diviser les faibles débits.

Une concentration de blocs de 5 à 10 % de la surface du lit au débit plein bord (DPB) apparaît comme une fourchette optimale pour dissiper l'énergie. La limite minimale de 5 % n'est pas aussi efficace initialement, mais cette concentration pour-

rait augmenter de façon naturelle si les blocs peuvent constituer des noyaux pouvant former des amas de galets de plus grandes tailles lors de la phase d'organisation du lit. Pour que ce soit possible, l'apport sédimentaire de l'amont doit être suffisant. Un RP fortement positif pourrait également représenter une situation plus risquée qui devrait être analysée avec soin. Le choix de la concentration de blocs doit donc être adapté aux conditions spécifiques du projet. Enfin, pour éviter que la présence de blocs ne provoque une obstruction au transit des débris ligneux et des glaces, l'espace occupé par les blocs devrait être inférieur à 10 % de la section transversale du lit à l'intérieur de la LDPB. Les blocs prévus pour la simulation du tronçon de référence doivent être inclus dans le calcul.

La seconde option serait la majoration de la taille des sédiments du lit simulé au-delà du calibre requis pour assurer la stabilité de la matrice. Il est important toutefois de s'assurer que la distribution granulométrique permette de limiter le débit interstitiel.

3.3.4.2 Géométrie de la section d'écoulement

Une des façons d'ajuster la section d'écoulement est de construire dans le ponceau un lit qui simule toutes les formes (ex. : sinuosité, seuils) du style fluvial du tronçon de référence, de manière à dissiper l'énergie au même taux que le cours d'eau naturel. Le ponceau devrait vraisemblablement être élargi et la détermination de la largeur requise devrait être guidée par les dimensions des formes du tronçon de référence. Un ponceau non linéaire pourrait également être une option.

Si l'excès d'énergie se produit lors des crues, il est possible d'intervenir indirectement sur la géométrie de la section d'écoulement en augmentant la largeur de l'ouvrage pour diminuer le **rayon hydraulique**. La contribution minimale de la sinuosité à la rugosité serait de l'ordre de 13 % (celle-ci pourrait aller jusqu'à 30 %), ce qui pourrait être compensé par un élargissement de 30 % de l'ouvrage (Barnard, 2013). Cet élargissement servirait en quelque sorte à intégrer une « plaine de débordement » à l'extérieur du chenal au DPB, dont la largeur devrait demeurer inchangée.

PONCEAU À SIMULATION DE COURS D'EAU

EN RÉSUMÉ

✓	PENTE COURS D'EAU	≤	3 %
✓	PENTE PONCEAU	=	Pente du cours d'eau
✓	POSITIONNEMENT PONCEAU	✓	Suivre le profil et le tracé du cours d'eau
		✓	Minimiser la longueur du ponceau (Viser $L_{\text{ponceau}}/LDPB < 10$)
✓	MATRICE DES SUBSTRATS	✓	Pour la stabilité ($L_{\text{ponceau}}/LDPB < 10$) : <ul style="list-style-type: none"> • Min. 16-20 % de sédiments stables, crue 100 ans • $D_{100} \approx 2.5 D_{84} \approx 6.25 D_{50}$ • Max. 25 % de particules $< 2 \text{ mm}$
		✓	Pour l'étanchéité (test d'étanchéité requis) : <ul style="list-style-type: none"> • Granulométrie continue et étalée • Équation de Fuller-Thompson (1907) • Min. 5-10 % de particules $\leq 80 \mu\text{m}$
		✓	Chenal d'étiage représentatif du cours d'eau naturel
		✓	Épaisseur du lit simulé : <ul style="list-style-type: none"> • $\geq 20 \%$ ou 30% de la largeur des ponceaux rectangulaire et circulaire respectivement • $\geq 1.5 \times D_{100}$
✓	BLOCS DE RIVES	≥	D_{100} et enfouis de 30 % de leur diamètre
✓	BLOCS COURS D'EAU NATUREL	≥	$D_{\text{blocs naturels}}$ et enfouis de 30 % de leur diamètre
✓	LARGEUR LIT SIMULÉ	≥	$LDPB + (2 \times D_{\text{rives}})$
✓	AJUSTEMENT SI EXCÈS D'ÉNERGIE (ex. : $L_{\text{ponceau}}/LDPB < 10$, perte de sinuosité)	✓	Par l'augmentation de la rugosité : ajout de blocs dans le lit, ↓ longueur du ponceau, ↑ taille des sédiments
		✓	Par la modification de la géométrie de la section d'écoulement : construire les formes fluviales, ↑ largeur du ponceau de 30 %

3.4 Ponceau à refoulement

Cette approche est basée sur le principe que le refoulement de l'eau jusqu'en amont du ponceau permettra de réduire les vitesses et d'obtenir des profondeurs d'eau suffisantes pour assurer le libre passage du poisson (voir figure 3.10). L'eau est refoulée par un seuil dans le cours d'eau en aval du ponceau, ou, en l'absence de seuil, par le cours d'eau lui-même.



Pour que les conditions hydrauliques générées par le refoulement de l'eau soient adéquates pour assurer le libre passage du poisson, certaines combinaisons de **pente**, d'enfouissement et de longueur de ponceau doivent être respectées (voir tableau 3.2). Dès qu'un de ces facteurs est modifié, la combinaison n'est plus valable. Si le promoteur désire utiliser ce type de structure, les critères de conception suivants sont recommandés :

- La largeur d'un ponceau devrait être supérieure à 750 mm;

- Le ponceau devrait être installé à la même pente que le cours d'eau naturel;
- Le ponceau devrait être enfoui, sur toute sa longueur, d'une valeur minimale équivalente à 20 % de sa largeur, à l'intérieur de la plage de 250 mm à 400 mm. L'enfouissement se mesure par rapport à l'élévation du point le plus bas (**thalweg**) du premier seuil naturel en aval du ponceau et non touché par les travaux. Ce seuil devrait être situé à une distance de plus de trois fois la largeur du ponceau. En l'absence d'un seuil naturel, l'enfouissement peut être mesuré par rapport à l'élévation du thalweg du lit naturel du cours d'eau non touché par les travaux et situé à la même distance du ponceau. Dans le cas d'une reconstruction complète du cours d'eau en aval du ponceau, un petit seuil devrait être aménagé en aval du ponceau à une distance de plus de

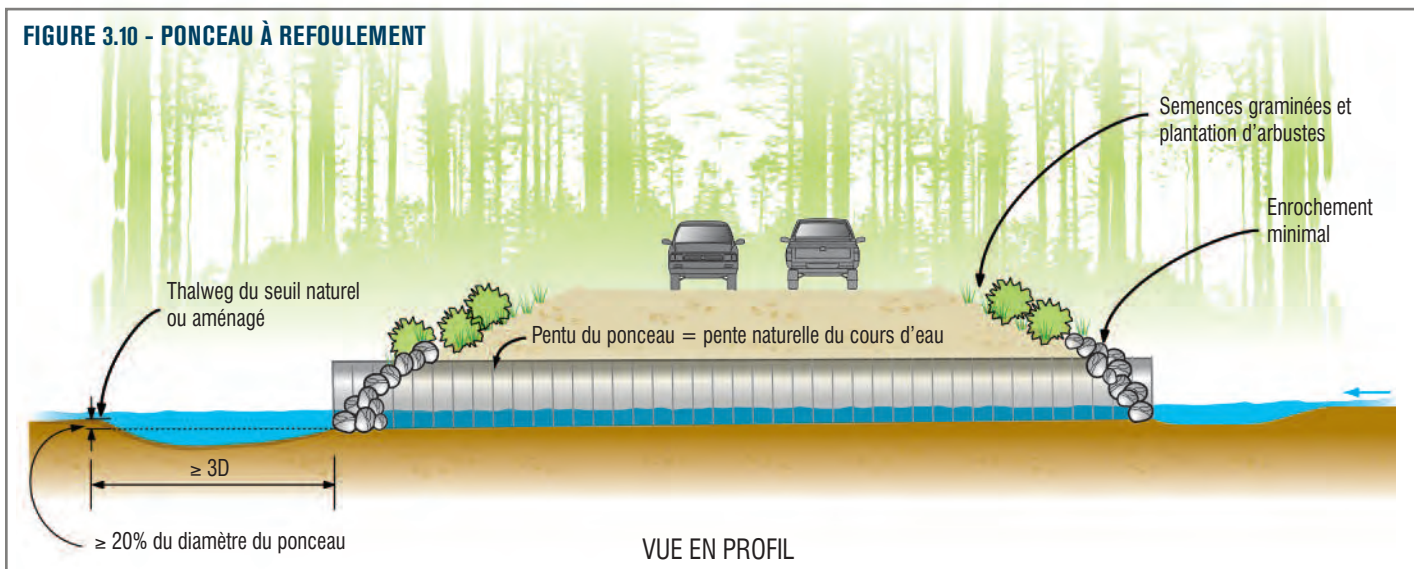
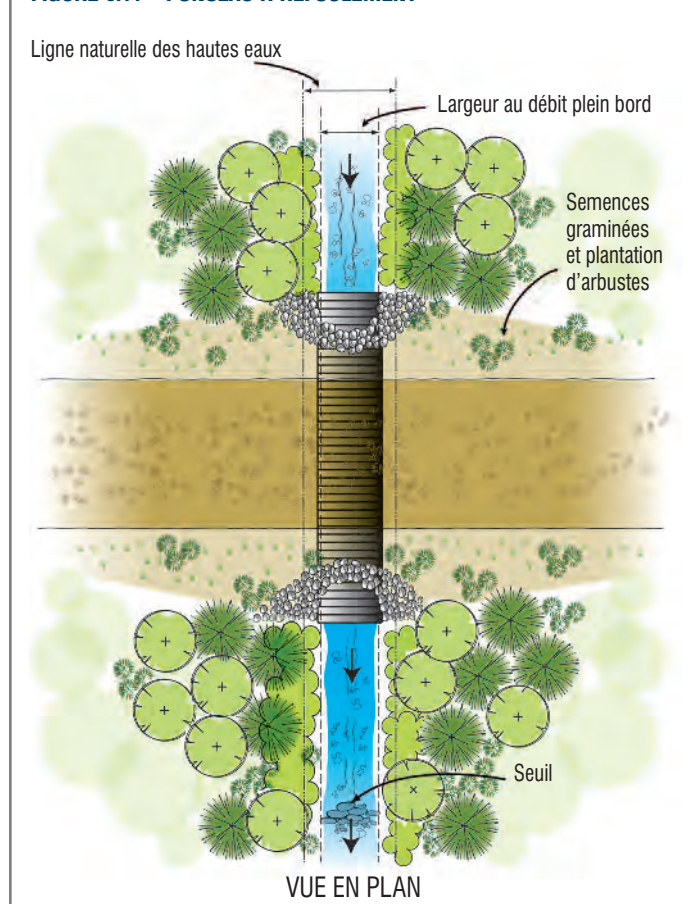


FIGURE 3.11 - PONCEAU À REFOULEMENT

trois fois la largeur du ponceau. Il devrait permettre le libre passage du poisson, être résistant aux crues, présenter un chenal d'étiage et être suffisamment étanche pour éviter que l'eau percole dans le substrat (voir section 3.5.6);

- Le ponceau devrait maintenir une largeur équivalente à au moins 80 % de la largeur au **débit plein bord** (LDPB), celle-ci étant la moyenne de quatre mesures représentatives de la largeur du cours d'eau naturel au site de la traversée et en dehors des zones affectées par la présence de ponceaux, de barrages de castors, etc. Il faut considérer que pour un ponceau circulaire, le rétrécissement du cours d'eau varie selon le degré d'enfouissement. Pour un enfouissement de 20 %, le diamètre d'un ponceau circulaire doit être supérieur à la LDPB;
- La longueur maximale du ponceau est fonction de la rugosité de sa surface intérieure et de la pente du cours d'eau. Plus le ponceau est lisse, plus les vitesses d'écoulement sont élevées et les profondeurs d'eau sont faibles, ce qui représente des conditions non favorables au passage du poisson. Les ponceaux rugueux les plus courants sont

les tuyaux en tôle ondulée annulaires. Leur **coefficient** de rugosité **de Manning** (n) varie généralement entre 0.022 et 0.035. Aussi, les ponceaux dont n est inférieur à 0.022, comme les ponceaux en béton ($n \approx 0,013$) et les ponceaux en polyéthylène ($n \approx 0,011$), sont considérés lisses. Les longueurs et pentes maximales recommandées sont présentées dans le tableau 3.2;

TABLEAU 3.2 - LONGUEUR ET PENTE MAXIMALES D'UN PONCEAU À REFOULEMENT

PENTE MAXIMALE DU COURS D'EAU	LONGUEUR MAXIMALE DU PONCEAU (m)	
	<i>Rugueux</i>	<i>Lisse</i>
1.5 %	12	9
1 %	18	12
0.5 %	24	21
0.25 %	39	30
0.1 %	50	50

- L'empierrement de protection du ponceau devrait être limité au minimum, ne pas nuire au passage du poisson et s'harmoniser avec le cours d'eau naturel (voir section 5.1);
- Les seuils naturels en amont et en aval des travaux ne devraient pas être touchés lors de la construction. Une transition douce et sans bris de pente devrait être réalisée entre ces seuils et le ponceau. S'il s'avérait que les seuils soient déstabilisés lors des travaux, ils devraient être restaurés pour protéger le cours d'eau d'une **érosion régressive**. Cependant, les interventions devraient être limitées au strict minimum. Le matériel utilisé pour une telle stabilisation devrait être complètement encastré dans le cours d'eau pour éviter de devenir un obstacle au libre passage du poisson.

PONCEAU À REFOULEMENT

EN RÉSUMÉ

✓	PENTE PONCEAU	=	Pente du cours d'eau naturel				
✓	LARGEUR PONCEAU	≥	750 mm				
		≥	80 % de LDPB pour un ponceau rectangulaire				
		≥	LDPB pour un ponceau circulaire				
✓	ENFOUISSEMENT DU RADIER AVAL	≥	20 % de largeur du ponceau, entre 250 mm et 400 mm (mesuré au 1 ^{er} seuil naturel à plus de 3 × la largeur du ponceau)				
✓	LONGUEUR MAX. PONCEAU						
	PENTE MAX.		1.5 %	1 %	0.5 %	0.25 %	0.1 %
	Ponceau rugueux		12	18	24	39	50
	Ponceau lisse		9	12	21	30	50

3.5 Ponceau à déversoirs

La **pente** ou la longueur peuvent être trop importantes pour que l'eau puisse être refoulée de l'aval du ponceau jusqu'en amont de celui-ci. Des déversoirs sont alors requis pour créer une succession de seuils et de bassins dont l'objectif est d'augmenter les profondeurs d'eau et de réduire les vitesses, de manière à assurer le libre passage du poisson jusqu'en amont du ponceau. Un bassin de dissipation d'énergie et un seuil sont également requis en aval du ponceau, tel qu'illustré sur la figure 3.12. La conception des ponceaux à déversoirs doit être réalisée en fonction des espèces et des tailles des poissons ciblés, de l'hydrologie du secteur ainsi que de la pente et du **profil en long** du cours d'eau.



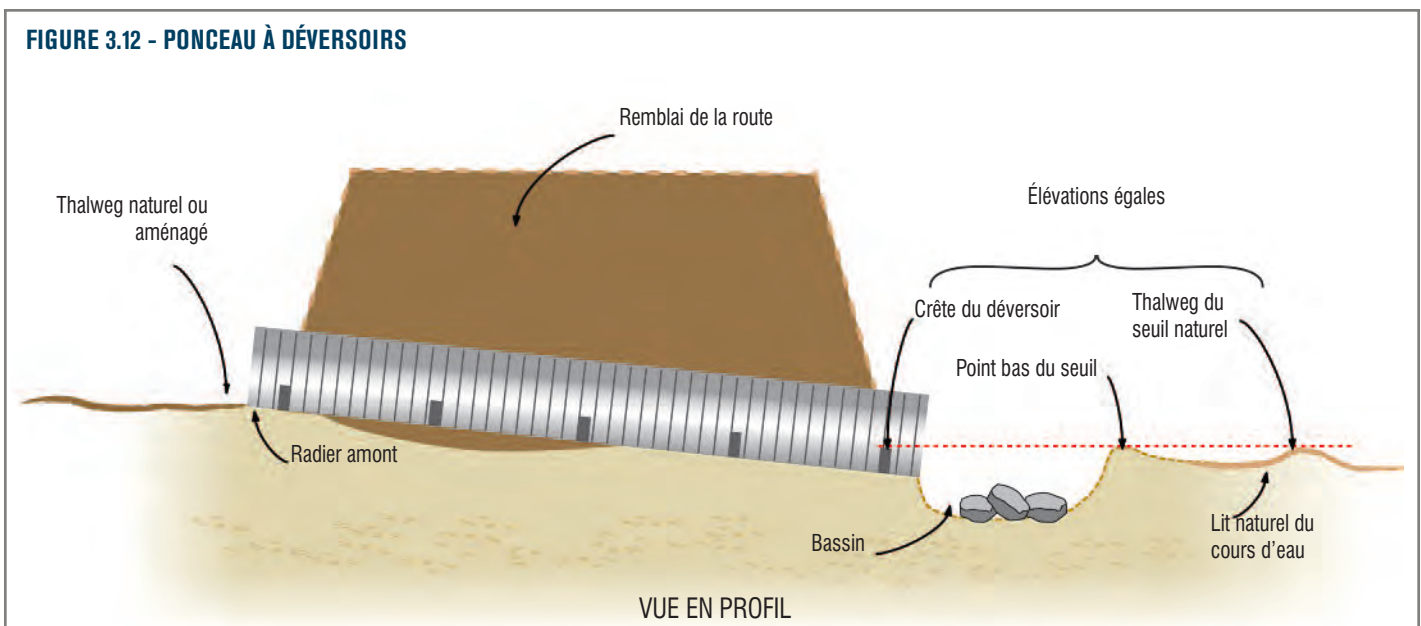
Les déversoirs peuvent être utilisés dans une grande variété de structures allant des ponceaux circulaires, arqués ou rectangulaires jusqu'aux ponceaux à contour ouvert. Des joints

d'étanchéité pourraient être requis entre les sections des ponceaux. L'aménagement de déversoirs dans les structures sur semelles (à contour ouvert) devrait respecter, en plus des critères de la présente section, ceux du chapitre 4.2.

Afin de réduire les difficultés d'entretien et les risques d'obstruction, il est recommandé que la dimension minimale des ponceaux équipés de déversoirs soit de 1500 mm. De plus, le ponceau ne devrait pas réduire de plus de 20% la largeur du cours d'eau au **débit plein bord** (DPB).

La section d'écoulement réduite par les déversoirs devrait être considérée dans le calcul de la capacité hydraulique de la structure et de son dimensionnement. La présence d'un bassin et d'un seuil en aval peut également induire des conditions qui peuvent avoir une incidence sur la capacité hydraulique.

FIGURE 3.12 - PONCEAU À DÉVERSOIRS



3.5.1 Positionnement du ponceau

3.5.1.1 En plan

Le positionnement en plan du ponceau est spécifique à chaque site. Bien qu'a priori il soit préférable de positionner le ponceau dans l'axe du cours d'eau pour réduire les risques d'obstruction et d'érosion, un ponceau à déversoirs peut être placé de façon plus perpendiculaire à la route dans le but de réduire sa longueur. L'augmentation de la pente d'un ponceau à déversoirs peut aussi permettre de réduire la pente d'une reconstitution d'un cours d'eau. Ce positionnement est acceptable à condition de ne pas créer une courbe trop prononcée aux extrémités du ponceau. Le rayon de courbure minimal devrait être équivalent à deux fois la largeur au débit plein bord (LDPB).

3.5.1.2 En profil

Le positionnement en profil en fonction des élévations du **thalweg** du cours d'eau est une étape clé du succès d'un ponceau à déversoirs pour qu'il assure le passage du poisson (voir figure 3.12).

a) Balises pour l'élévation du radier aval

Le premier seuil non touché par les travaux en aval du ponceau et situé à plus de trois fois la largeur de celui-ci devrait servir de point de départ au positionnement du ponceau. L'élévation de la crête du premier déversoir dans le ponceau devrait être positionnée à la même élévation que le point bas (thalweg) de ce seuil.

L'utilisation du cours d'eau naturel pour refouler l'eau jusqu'au ponceau présente plusieurs avantages. Cette approche élimine le risque de créer un obstacle au passage du poisson en raison du rehaussement du cours d'eau occasionné par la construction d'un seuil. En outre, l'étanchéité des substrats naturels, garante d'un refoulement adéquat de l'eau, permet de réduire l'important défi d'étancher un seuil construit, particulièrement dans les petits cours d'eau. De plus, les seuils naturels sont souvent plus durables et nécessitent moins d'entretien.

Si un seuil doit être construit, son élévation (point bas) devrait être placée à la même élévation que le thalweg du premier seuil naturel plus en aval. En absence de seuil naturel, le point bas du seuil devrait se situer à la même élévation que le thalweg du cours d'eau naturel au point de raccordement.

Lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser le cours d'eau naturel pour assurer le refoulement de l'eau jusqu'au ponceau, un réaménagement de cours d'eau (voir chapitre 5.0) devrait être

effectué entre le seuil et le point de raccordement au cours d'eau naturel. Le réaménagement du cours d'eau devrait débuter à l'élévation du point bas du seuil pour éviter la création d'une chute en aval de celui-ci.

Compte tenu de ces critères de conception, le radier aval du ponceau sera fortement enfoui par rapport au niveau du lit du cours d'eau. Ainsi, les ponceaux avec déversoirs devraient être installés avec une pente plus élevée que celle du cours d'eau naturel, ce qui permet de limiter la sédimentation dans les bassins entre les déversoirs.

Il pourrait également être avantageux d'abaisser d'avantage le radier aval pour d'autres raisons, par exemple pour réduire la pente d'un tronçon de cours d'eau reconstitué en aval.

b) Balises pour l'élévation du radier amont

Afin d'assurer une profondeur d'eau suffisante dans le cours d'eau, l'élévation du radier amont du ponceau devrait correspondre à l'élévation du thalweg du cours d'eau. Toutefois, il pourrait être acceptable d'enfouir le radier amont jusqu'à un maximum de 300 mm, dans la mesure où la pente du cours d'eau en amont est assez faible pour que le ponceau y assure une profondeur d'eau suffisante pour le libre passage du poisson.

c) Ratio de pentes

Dans le but de limiter les risques d'ensablement, le **ratio de pentes** (RP) devrait être supérieur à 1.25. Si ce critère ne peut être respecté avec le positionnement des radiers tel que décrit précédemment, le radier aval du ponceau devrait être enfoui davantage pour augmenter la pente du ponceau.

Ce contrôle du RP devrait être suffisant dans la plupart des situations. Cependant, dans les cours d'eau où l'apport sédimentaire est très élevé, il pourrait être nécessaire de vérifier si la puissance du cours d'eau est suffisante pour éviter une sédimentation excessive.

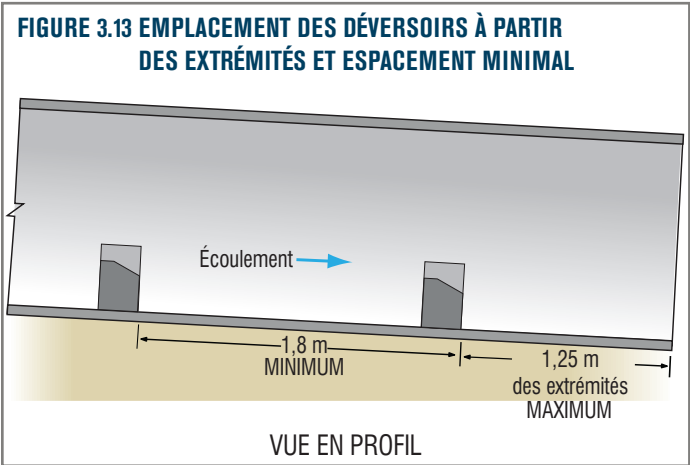
3.5.2 Nombre et positionnement des déversoirs

3.5.2.1 Emplacement à partir des extrémités

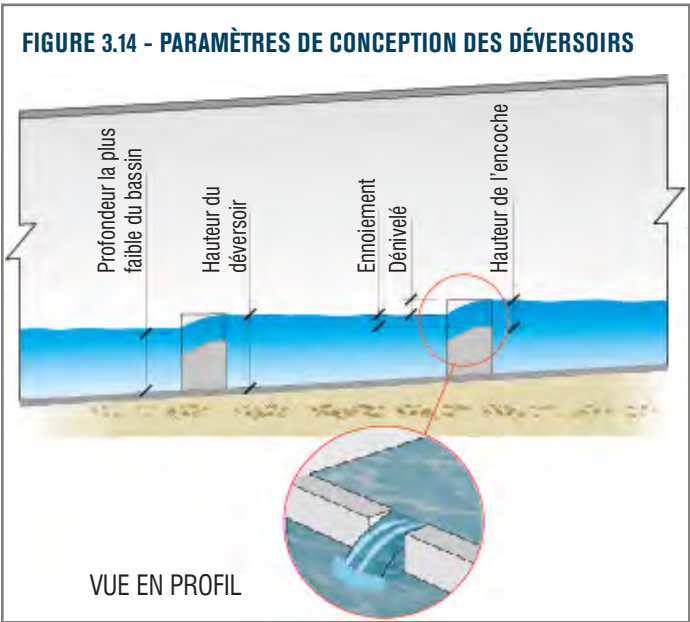
Le premier déversoir en amont et le premier déversoir en aval devraient être localisés à une distance inférieure à 1.25 mètres de chacune des extrémités du ponceau (voir figure 3.13). Les aménagements d'extrémités doivent être inclus dans le calcul des distances maximales. De plus, il est préférable de ne pas positionner les déversoirs directement aux extrémités des ponceaux afin de réduire les risques d'affouillement.

3.5.2.2 Espacements

L'espacement minimal entre deux déversoirs devrait être de 1.8 m (voir figure 3.13), à moins que la dissipation d'énergie entre les déversoirs soit calculée pour le cas spécifique.



L'espacement maximal est déterminé avec le dénivellé maximal entre les déversoirs, qui devrait être établi en fonction des capacités natatoires et de saut des espèces visées ainsi que des stades de vie ciblés. Un dénivellé maximal de 150 mm est généralement adéquat pour plusieurs espèces et stades de vie (ex. : omble de fontaine, doré). Pour certaines espèces moins performantes ou pour des petits bassins versants, un dénivellé de 100 mm pourrait être requis. Dans certains cas, comme un cours d'eau à très forte pente, un dénivellé de 200 mm pourrait également être acceptable étant donné la présence probable de ce type de dénivellé dans d'autres sections du cours d'eau naturel.



L'espacement maximal se calcule en divisant le dénivellé maximal entre les déversoirs par la pente du ponceau.

$Esp. \text{ max } = \Delta h / S_{\text{ponceau}}$

où **Esp. max** : espacement maximal entre les déversoirs (m);

Δh : dénivellé maximal entre les déversoirs (m);

S_{ponceau} : pente du ponceau. Cette pente est établie en fonction des critères de la section 3.5.1.

À titre d'exemple, le tableau suivant présente l'espacement longitudinal maximal entre les déversoirs pour obtenir un dénivellé de 150 mm en fonction de la pente d'un ponceau, et non celle du cours d'eau, déterminée en tenant compte des profondeurs d'enfouissement à l'amont et à l'aval.

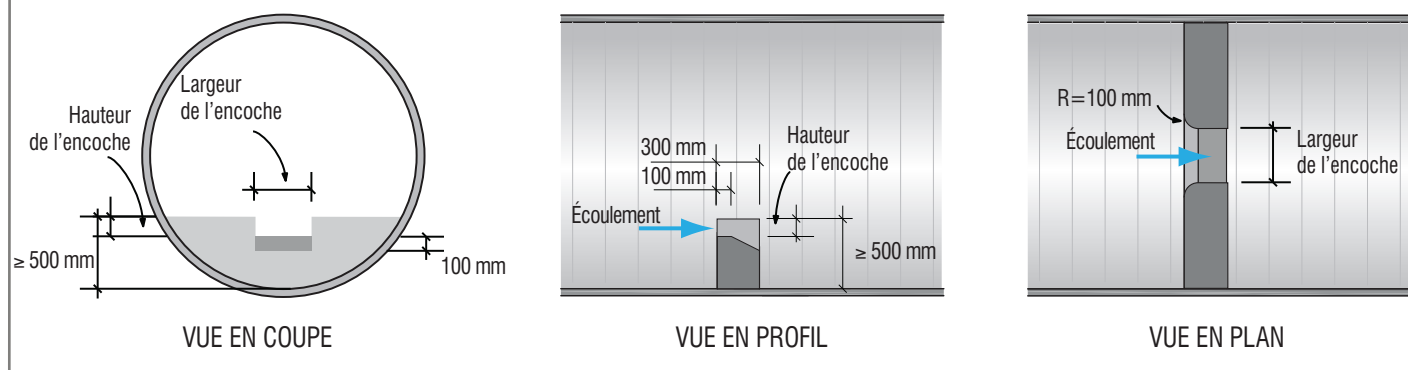
TABEAU 3.3 - EXEMPLES D'ESPACEMENTS MAXIMAUX ENTRE LES DÉVERSOIRS AVEC UN DÉNIVELLÉ DE 150 mm

PENTE PONCEAU	DÉNIVELLÉ (mm)	ESPACEMENT MAXIMAL (m)
1 %	150	15
2 %	150	7.5
3 %	150	5
4 %	150	3.75
5 %	150	3
6 %	150	2.5

3.5.3 Modèles des déversoirs et des encoches

Les déversoirs doivent être dimensionnés pour assurer le libre passage du poisson. Bien qu'il existe plusieurs modèles de déversoirs et d'encoches qui peuvent permettre le libre passage du poisson, l'utilisation du modèle de déversoirs et d'encoches présenté à la figure 3.15 est recommandée. Avec ce modèle, la hauteur minimale des déversoirs devrait être de 500 mm.

Il est recommandé d'arrondir au minimum les arrêtes verticales situées du côté amont de l'encoche, avec un rayon de

FIGURE 3.15 - MODÈLE DES DÉVERSOIRS ET ENCOCHES

courbure de 100 mm. Sans ces arrondis, l'écoulement s'éloigne des parois (décollement) et provoque une zone d'air sur chaque paroi de l'encoche, diminuant ainsi les possibilités de passage dans l'encoche.

Les arrêtes des ponceaux en métal devraient être non coupantes et les matériaux résistants à la corrosion. Les joints entre les déversoirs et le conduit devraient être étanches. Des tôles arrondies ou pliées (ex. : à 45°) pourraient être installées en amont des arrêtes verticales pour limiter le décollement de l'eau. Il est important que la rampe de montaison (pente) soit localisée du côté aval des déversoirs.

Si les modèles de déversoirs et d'encoches sont différents de ceux recommandés dans ce document, il sera nécessaire de documenter et décrire les méthodologies et les hypothèses retenues pour leur conception. Peu importe les modèles retenus, les déversoirs devraient assurer une profondeur minimale d'eau dans les bassins deux fois plus grande que le dénivelé à franchir et toujours supérieure à 200 mm. La profondeur la plus petite d'un bassin se trouve tout juste en aval du déversoir, tel qu'illustré à la figure 3.14.

3.5.4 Dimensions des encoches

Les encoches (largeur et hauteur) doivent être dimensionnées pour assurer le libre passage du poisson. Les encoches

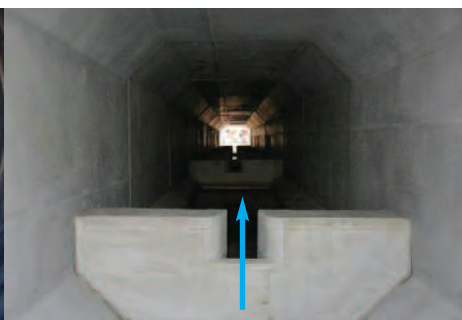
peuvent être au centre des déversoirs ou décentrées en alternance d'un déversoir à l'autre. Si elles sont en alternance, une attention particulière doit être portée aux possibilités d'ensablement.

Les encoches devraient être conçues pour couler pleines au Q_{90} le plus faible de ceux des différentes périodes de déplacement des espèces de poissons ciblés qui fréquentent le cours d'eau. Cette approche devrait être favorisée car elle s'applique spécifiquement au cours d'eau traversé. À défaut de stations hydrométriques permettant de déterminer un Q_{90} représentatif du cours d'eau, les débits spécifiques d'étiage estivaux disponibles au [Centre d'expertise hydrique du Québec](#) pourraient être utilisés. Le débit de conception pourrait alors être estimé à partir de l'ensemble des stations localisées dans le système de bassins versants de la traversée.

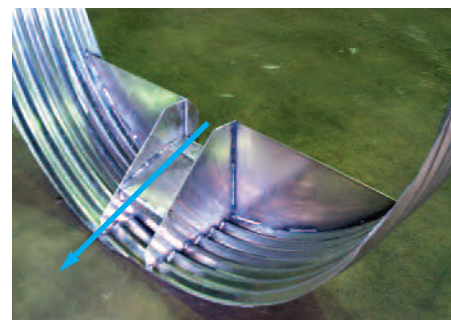
Une fois le débit de conception connu, il est recommandé de se référer au tableau 3.4 pour sélectionner les dimensions d'encoches adéquates en fonction du débit et du dénivelé entre les déversoirs. Mentionnons que ce débit devrait remplir complètement l'encoche. L'utilisation du tableau 3.4 permet de choisir des dimensions qui permettent l'atteinte de cet objectif.



Déversoirs en polyéthylène (vue de l'aval)



Déversoir en béton (vue de l'amont)



Déversoir en métal installé sur une bague

TABLEAU 3.4 - DÉBIT MINIMAL (m³/s) POUR REMPLIR UNE ENCOCHE

DÉNIVELÉ = 100 mm		LARGEUR DE L'ENCOCHE (mm)									
		0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	0.450	0.500	0.550	0.600
HAUTEUR DE L'ENCOCHE (mm)	0.150	0.014	0.019	0.024	0.028	0.033	0.038	0.043	0.047	0.052	0.057
	0.200	0.020	0.027	0.033	0.040	0.047	0.054	0.060	0.067	0.074	0.080
	0.250	0.026	0.035	0.044	0.052	0.061	0.070	0.078	0.087	0.096	0.104
	0.300	0.032	0.043	0.054	0.065	0.075	0.086	0.097	0.108	0.118	0.129

DÉNIVELÉ = 150 mm		LARGEUR DE L'ENCOCHE (mm)									
		0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	0.450	0.500	0.550	0.600
HAUTEUR DE L'ENCOCHE (mm)	0.200	0.023	0.030	0.038	0.045	0.053	0.060	0.068	0.075	0.083	0.090
	0.250	0.030	0.040	0.049	0.059	0.069	0.079	0.089	0.099	0.109	0.119
	0.300	0.037	0.049	0.062	0.074	0.086	0.098	0.111	0.123	0.135	0.148

DÉNIVELÉ = 200 mm		LARGEUR DE L'ENCOCHE (mm)									
		0.150	0.200	0.250	0.300	0.350	0.400	0.450	0.500	0.550	0.600
HAUTEUR DE L'ENCOCHE (mm)	0.250	0.032	0.043	0.053	0.064	0.075	0.085	0.096	0.107	0.117	0.128
	0.300	0.040	0.054	0.067	0.080	0.094	0.107	0.121	0.134	0.147	0.161

Formule tirée de Larinier (2003) :

$$Q = 0.4 \ell \sqrt{2g} h^{3/2} \left(1 - \left(\frac{h - \Delta h}{h} \right)^{3/2} \right)^{0.385}$$

Où

- Q** : débit de l'encoche coulant pleine
- ℓ** : largeur de l'encoche
- h** : hauteur de l'encoche
- Δh** : dénivelé entre deux déversoirs

Outre le débit de conception, il existe également une hauteur et une largeur minimales d'encoche à respecter au moment de la détermination des dimensions de l'encoche :

- La largeur minimale de l'encoche est de 150 mm. Une encoche trop étroite pourrait empêcher le passage des poissons de grande taille;
- La hauteur minimale de l'encoche est la somme du dénivelé et de la hauteur d'enneiement (voir figure 3.14). La hauteur minimale d'enneiement requise est de 50 mm pour l'omble de fontaine, mais devrait être plus élevée (ex. : 100 mm) pour des espèces aux capacités natatoires plus faibles (ex. : éperlan arc-en-ciel, achigan à petite bouche). Ainsi, pour une hauteur d'enneiement de 50 mm et un dénivelé de 150 mm, la hauteur minimale de l'encoche devrait être de 200 mm.

En cas d'incompatibilité entre les dimensions de l'encoche déterminées avec le débit de conception (tableau 3.4) et les dimensions minimales de l'encoche, il faut privilégier les dimensions minimales.

3.5.5 Bassin de dissipation d'énergie

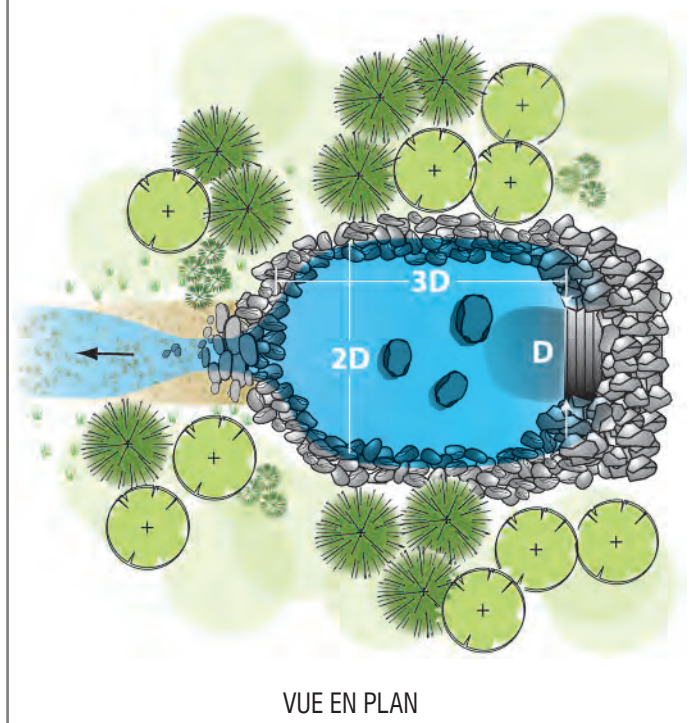
Le bassin de dissipation d'énergie permet de dissiper le surplus d'énergie de l'eau occasionné par l'installation du ponceau et d'offrir une aire de repos au poisson. Toutes les dimensions présentées ci-dessous réfèrent à des conditions d'étiage. Le bassin de dissipation d'énergie devrait être conçu selon les critères suivants :

- Le bassin devrait être stabilisé pour éviter l'affouillement et l'érosion;
- Aucun géotextile ne devrait être utilisé dans la construction du bassin;
- La largeur du bassin devrait être au moins deux fois la largeur du ponceau et la longueur du bassin devrait être au moins trois fois la largeur du ponceau (voir figure 3.16). Le surdimensionnement du bassin pourrait être acceptable si les caractéristiques du cours d'eau touché par le projet sont semblables à celles du bassin créé;
- Dans la mesure du possible, les axes longitudinaux centraux (centre-lignes) du bassin et du ponceau devraient être alignés;
- La profondeur du bassin devrait être d'au moins 1 mètre. La profondeur se mesure à partir de la crête du déversoir le plus en aval;
- Au moins trois blocs devraient être disposés en triangle dans le bassin afin de créer des aires d'abri pour le

poisson. Le diamètre des blocs devrait être d'environ 1 mètre ou 0,75 mètre pour les plus petits ponceaux (largeur inférieure à 2 mètres). Le nombre de blocs est fonction des dimensions minimales du bassin. Si des longueurs et largeurs supérieures sont retenues, le nombre de blocs devrait être ajusté en conséquence.



FIGURE 3.16 - DIMENSIONS DU BASSIN DE DISSIPATION D'ÉNERGIE



3.5.6 Seuil en aval du bassin de dissipation d'énergie

Le seuil à la sortie du bassin de dissipation d'énergie devrait respecter les critères suivants :

- Il devrait être stable, imbriqué sur une profondeur suffisante dans le lit du cours d'eau et ancré sur une largeur suffisante dans les rives pour résister à une crue centennale;
- Il devrait présenter une encoche avec une aire d'écoulement comparable à celle des encoches des déversoirs. Dans le cas d'un seuil rigide (ex. : en béton ou métal), l'encoche devrait avoir les mêmes dimensions que celles des encoches des déversoirs;
- Il devrait être étanche pour assurer une profondeur d'eau suffisante. Afin de limiter le débit interstitiel d'un seuil en enrochement, des blocs de calibres variés devraient être mis en place un à un pour une meilleure imbrication des éléments entre eux, et les vides devraient être comblés avec des matériaux plus petits (ex. : gravier, cailloux, sable, particules plus fines). L'utilisation de géotextile n'est pas recommandée pour rendre étanche un seuil en enrochement. En effet, le géotextile peut engendrer des problèmes à moyen et à long terme (ex. : déchirure, soulèvement, érosion) qui pourraient nuire à sa stabilité ou entraver le passage du poisson. Si, pour une raison particulière, un géotextile était utilisé, l'étanchéité du seuil devrait quand même être assurée par les substrats. Dans ces situations, des précautions importantes devraient être prises pour garantir à long terme la pérennité et la stabilité du géotextile et éviter sa mise à nu;
- Le point bas du seuil devrait être à la même élévation que le thalweg du 1^{er} seuil ou du cours d'eau naturel non touché par les travaux. Lorsque c'est impossible, la difficulté d'étancher un seuil en enrochement augmente et des seuils fabriqués avec des structures rigides (voir section 4.2) devraient être envisagés.

PONCEAU À DÉVERSOIRS

EN RÉSUMÉ

✓	DIMENSIONS PONCEAU	≥	1500 mm et réduction LDPB ≤ 20%
✓	RATIO DE PENTES (RP)	≥	1.25
✓	ÉLÉVATION CRÊTE 1^{er} DÉVERSOIR (aval)	=	Élévation du thalweg du 1 ^{er} seuil qui restera naturel
✓	ÉLÉVATION RADIER AMONT	=	Élévation du thalweg du cours d'eau naturel
✓	DÉNIVELÉ (Δh) MAX.	150 mm	Ex. : Omble de fontaine, doré
		100 mm	Ex. : Brochet, éperlan, achigan
✓	ENNOIEMENT MIN.	50 mm	Ex. : Omble de fontaine
		100 mm	Ex. : Brochet, éperlan, achigan, doré
✓	EMPLACEMENTS DÉVERSOIRS	≤	1.25 m des extrémités
		≤	1.8 m entre deux déversoirs
		≥	(Δh / pente) entre deux déversoirs
✓	HAUTEUR DÉVERSOIRS	≥	500 mm
✓	DIMENSIONS ENCOCHES	✓	Tableau 3.3
		✓	Largeur ≥ 150 mm
		✓	Hauteur ≥ Dénivelé + Ennoiement
		✓	Assurer profondeur d'eau entre déversoirs ≥ 200 mm
		✓	Assurer profondeur d'eau entre déversoirs ≥ 2 X Δh
✓	BASSIN DISSIPATION ÉNERGIE	✓	Largeur bassin ≥ 2 × largeur du ponceau
		✓	Longueur bassin ≥ 3 × largeur du ponceau
		✓	Profondeur bassin ≥ 1000 mm
		✓	Au moins trois blocs (0.75 m - 1 m)
✓	SEUIL	✓	Stable et étanche
		✓	Chenal d'étiage : dimensions comparables à celles des encoches des déversoirs

3.6 Ponceaux doubles

Il est toujours préférable d'implanter un pont ou un ponceau unique car les ponceaux multiples augmentent l'empiétement dans l'habitat du poisson et sont sujets à l'obstruction par les débris et à la sédimentation, ce qui peut avoir un impact sur le passage du poisson. S'il n'est pas possible d'installer un ouvrage unique, un maximum de deux ponceaux en parallèle pourrait être acceptable, dans la mesure où les ouvrages sont entretenus régulièrement et que les recommandations suivantes sont respectées :

- Les ponceaux devraient être espacés d'au moins un mètre pour permettre un compactage adéquat du remblai;
- Les ponceaux ne devraient pas occasionner l'élargissement du cours d'eau au **débit plein bord** (DPB);
- Des ouvrages pour orienter les débris (ex. : pointe de roche) doivent être installés en amont des ponceaux;
- Au moins un des ponceaux devrait assurer le libre passage du poisson conformément aux concepts présentés aux sections 3.3 à 3.5. L'autre ponceau devrait être installé à une élévation qui ne nuise pas à l'efficacité du ponceau qui assure le libre passage du poisson.

3.6.1 Ponceaux à simulation de cours d'eau

Les ponceaux doubles ne sont pas recommandés avec l'approche par simulation de cours d'eau, sauf si le cours d'eau naturel est divisé en deux.

3.6.2 Ponceaux à refoulement

Pour les ponceaux à refoulement, les critères suivants devraient être respectés :

- Ponceaux installés à différentes élévations (option privilégiée) : les radiers amont des ponceaux devraient être positionnés à des élévations dont la différence minimale est de 150 mm;
- Ponceaux installés à la même élévation : une attention particulière devrait être portée à l'étanchéité du seuil. En effet, comme le débit serait divisé entre les deux ponceaux, les conséquences d'un abaissement du refoulement seraient plus importantes sur les conditions hydrauliques.

3.6.3 Ponceaux à déversoirs

Pour les ponceaux à déversoirs, les critères suivants devraient être respectés :

- Ponceaux installés à différentes élévations (option privilégiée) :
 - Les déversoirs devraient être installés dans le ponceau inférieur;
 - Le radier amont du ponceau sans déversoir devrait être positionné au minimum 500 mm plus haut que le radier amont du ponceau à déversoirs.
- Ponceaux installés à la même élévation :
 - Des déversoirs devraient être installés dans les 2 ponceaux;
 - Les encoches devraient être dimensionnées pour la moitié du débit de conception.



4.0



À l'instar des projets qui consistent à installer un nouveau ponceau ou à remplacer un ancien, la réfection d'un ponceau doit viser le maintien ou le rétablissement des conditions de libre passage du poisson lorsqu'il est requis (voir section 2.3).

Bien que le remplacement d'un ponceau demeure la meilleure option pour assurer le libre passage du poisson, la réfection est souvent retenue pour d'autres considérations. Les réfections qui sont abordées dans cette section sont celles qui pourraient modifier les conditions hydrauliques. Les modifications mineures, comme des soudures ou les modifications extérieures au ponceau, par exemple la correction d'un remblai ou d'une stabilisation, ne sont pas traitées ici.

Certaines approches, comme la simulation de cours d'eau, sont moins adaptées aux réfections, car le ponceau existant n'est généralement pas assez enfoui ou est trop étroit pour permettre l'utilisation de ce type de conception. Par contre, d'autres approches, comme l'installation d'ouvrages dans le cours d'eau pour refouler l'eau dans le ponceau ou l'ajout de déversoirs, sont des options plus réalistes lorsque la réfection d'un ponceau doit permettre d'assurer le libre passage du poisson.

Avant de choisir une solution, il importe de considérer l'évolution anticipée du cours d'eau et d'évaluer les besoins d'entretien qui pourraient devenir importants à la suite des travaux de réfection. Dans de telles situations, il peut s'avérer plus avantageux, à long terme, de remplacer un ouvrage que d'en faire la réfection et l'entretien.

Certaines données physiques plus détaillées que celles recueillies à l'étape de la planification du projet (sections 2.1 et 2.3.1) seront requises pour réaliser la conception des aménagements. Les détails de l'inventaire physique à réaliser pour la conception sont présentés à l'annexe II.

4.1 Aménagements à l'intérieur du ponceau

Les méthodes de réhabilitation sans tranchée pour faire la réfection d'un ponceau en mauvais état sont de plus en plus utilisées parce qu'elles sont souvent plus économiques que le remplacement complet de la structure, notamment lorsqu'on est en présence d'un remblai important au-dessus du ponceau. Les méthodes les plus répandues sont l'insertion (tubage), le chemisage et la projection de béton. Cependant, avec ces méthodes, la rugosité interne du ponceau réparé est souvent faible, ce qui occasionne des vitesses élevées et des profondeurs d'eau faibles, conditions non propices au passage du poisson. De plus, la réduction des dimensions internes du ponceau et le rehaussement du radier associés à certaines de ces techniques peuvent également occasionner des conditions hydrauliques non propices en plus de faire apparaître ou accentuer une chute en aval du ponceau.

Pour qu'un ponceau réparé assure le libre passage du poisson par refoulement, les critères de la section 3.4 devraient être respectés en considérant l'élévation du nouveau radier et les ouvrages en aval. Les conditions hydrauliques à l'entrée du ponceau devraient également assurer le libre passage du poisson.

Par ailleurs, des aménagements supplémentaires dans les ponceaux sont souvent nécessaires pour augmenter la profondeur d'eau et réduire les vitesses, comme l'installation de déversoirs. Dans ces situations, les recommandations de la section 3.5 devraient être respectées. De plus, les joints entre le ponceau et les déversoirs devraient être étanchéisés pour éviter que l'eau contourne les déversoirs par-dessous ou par les côtés.

Il est possible que la capacité hydraulique du ponceau ne permette pas l'installation de déversoirs de 500 mm de hauteur tel que recommandé à la section 3.5. En pareil cas, il pourrait être acceptable d'installer des déversoirs moins hauts en réduisant les dénivelés entre ceux-ci. Les critères pour l'ennoiment et la profondeur d'eau devraient toutefois être respectés. Le volume des bassins devrait également être suffisant pour que la **puissance volumique dissipée** (P_v) soit inférieure aux valeurs recommandées pour les espèces et les stades de vie ciblés pendant les périodes de déplacement (voir section 4.2.1).

4.2 Ouvrages en aval du ponceau existant

Lors d'une réfection de ponceau, il n'est pas possible d'ajuster l'élévation du radier du ponceau et de l'enfouir afin de refouler l'eau dans le ponceau. Aussi, la mise en place d'ouvrages dans le cours d'eau en aval du ponceau est souvent une option intéressante pour rehausser les niveaux d'eau de manière à envoyer une chute à la sortie du ponceau ou à remédier à des vitesses ou profondeurs d'eau défavorables au libre passage du poisson.

Les ouvrages peuvent être utilisés en aval de ponceaux à déversoirs ou de ponceaux sans déversoir. Différents types d'ouvrages sont envisageables en aval du ponceau existant. Les ouvrages peuvent prendre la forme de seuils ou d'une petite passe migratoire, en autant qu'ils assurent le libre passage du poisson et demeurent efficaces à long terme (ex. : stabilité, étanchéité).

4.2.1 Seuils

L'avantage principal des seuils installés dans le cours d'eau est leur coût de construction relativement faible, surtout s'ils peuvent être réalisés avec des matériaux peu dispendieux comme des glissières de sécurité, et lorsque peu de seuils sont nécessaires. Par contre, si le nombre de seuils requis est important en raison de la problématique à corriger (importante chute, long ponceau et **pente** importante), cette option peut nécessiter des travaux sur un long tronçon du cours d'eau. Il faut également considérer que les seuils sont insérés dans un cours d'eau dynamique et peuvent donc subir des altérations avec le temps (ex. : abaissement, érosion, sédimentation, infiltration), ce qui pourrait entraver le passage du poisson et nécessiter de l'entretien et des travaux de réparation.

Les seuils peuvent être constitués de matériaux granulaires ou de structures rigides, par exemple en béton ou en métal. Les seuils rigides ont l'avantage d'être construits avec plus

de précision que les seuils en enrochement et ils réduisent la longueur du tronçon de cours d'eau sur lequel ils ont un effet. Ils sont donc recommandés lors de réfections de ponceau.

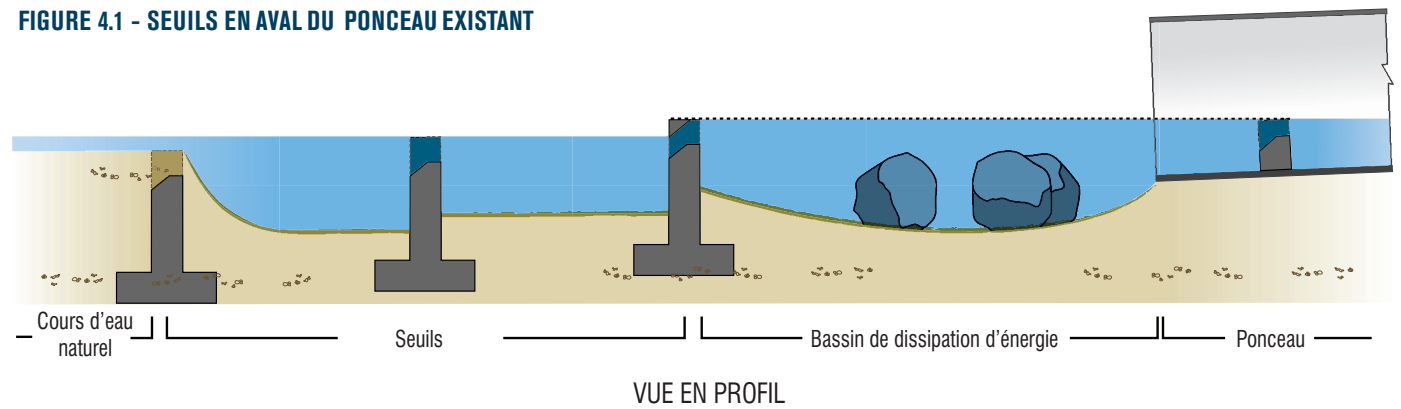
Voici quelques recommandations pour la conception et la construction de seuils rigides dans un cours d'eau (voir figure 4.1) :

- Il importe de concevoir les aménagements assez larges (encastrés dans les rives) et profonds (encastrés dans le lit) pour assurer l'étanchéité et la stabilité des aménagements;
- Le premier seuil en aval du ponceau ne doit pas être trop près de ce dernier sans quoi il risque d'être déstabilisé avec le temps. C'est d'ailleurs pourquoi un bassin de dissipation d'énergie devrait être aménagé en aval du ponceau, tel que décrit à la section 3.5.5;



Exemple de seuils fabriqués avec des structures rigides

FIGURE 4.1 - SEUILS EN AVAL DU PONCEAU EXISTANT



- Si des déversoirs sont présents dans le ponceau, le fond de l'encoche du premier seuil en aval du bassin de dissipation d'énergie devrait être à la même élévation que le fond de l'encoche du déversoir le plus en aval à l'intérieur du ponceau. S'il n'y a pas de déversoir dans le ponceau, les critères de la section 3.4 devraient être respectés. Le **thalweg** du seuil illustré sur la figure 3.10 est alors équivalent au fond de l'encoche du premier seuil en aval du bassin de dissipation d'énergie;
- Le dénivelé et la distance entre les seuils subséquents ainsi que les dimensions des encoches devraient suivre les recommandations émises à la section 3.5.2 à 3.5.4;
- Le volume d'eau à long terme dans chacun des bassins (entre deux seuils) devrait être suffisant pour que la **puissance volumique dissipée** (P_v) soit inférieure aux valeurs recommandées pour les espèces et les stades de vie ciblés pendant les périodes de déplacement. Par exemple, pour l'omble de fontaine adulte, la P_v devrait être inférieure à 150 W/m^3 pour le débit qui est égalé ou dépassé 10 % du temps pendant la période ciblée. Dans le cas des espèces d'eau calme comme le grand brochet, la P_v maximale devrait être de l'ordre de 100 W/m^3 ;
- La crête du seuil le plus en aval devrait être à la même élévation que le thalweg du premier seuil naturel non touché par les travaux. En l'absence de seuil naturel, la crête du seuil le plus en aval devrait être positionnée à l'élévation du thalweg du cours d'eau naturel;
- La hausse des niveaux d'eau sur les rives devrait être minimisée pour limiter la modification de la dynamique des débordements.

4.2.2 Petites passes migratoires

Deux types de petites passes migratoires sont recommandées pour leur simplicité et leurs besoins limités d'entretien. Il s'agit du demi-ponceau à déversoirs et de la mini-passe à bassins successifs. Ces options sont particulièrement intéressantes quand le nombre de seuils requis dans le cours d'eau est élevé (ex. : dénivelé important, forte pente du cours d'eau), quand les rives sont abruptes ou lorsque l'espace en aval du ponceau est restreint. La mini-passe à bassins successifs exige particulièrement peu d'espace car elle peut être réalisée en partie à côté du cours d'eau et qu'elle peut être conçue pour un débit inférieur au débit de crue. Un autre avantage de ces deux options est la précision de leurs élévations et la stabilité des ouvrages.

Le demi-ponceau à déversoirs est constitué, comme son nom l'indique, de la moitié inférieure d'un ponceau à déversoirs qui est installée en aval du ponceau existant. La conception du demi-ponceau à déversoirs devrait respecter les recommandations de la section 3.5.

La mini-passe migratoire devrait, quant à elle, être conçue selon les critères standards des passes migratoires à bassins successifs qui sont très proches des critères recommandés dans le présent document pour les ponceaux à déversoirs. Les photos suivantes illustrent un exemple de mini-passe à bassins successifs.



Mini-passes à bassins successifs

4.3 Autres options

L'amélioration du passage du poisson lors de la réfection de ponceau est un domaine en développement. Dans le cas où une option nouvelle était retenue, une démonstration de son efficacité à assurer le libre passage du poisson devrait être présentée. Le projet devra alors faire l'objet d'une analyse spécifique et possiblement de suivis supplémentaires.

5.0



Le présent chapitre doit être utilisé conjointement avec les chapitres 3.0 et 4.0 sur la conception des ouvrages. Il traite du réaménagement des tronçons de cours d'eau perturbés par les travaux, à l'extérieur des ouvrages eux-mêmes.

Certaines données physiques plus détaillées que celles recueillies à l'étape de la planification du projet (sections 2.1 et 2.3.1) seront requises pour réaliser la conception des aménagements. Les détails de l'inventaire physique à réaliser pour la conception sont présentés à l'annexe II.

5.1 Stabilisation des ouvrages

Une protection en enrochement est souvent nécessaire pour assurer la pérennité d'un ouvrage. L'ampleur des enrochements devrait être réduite au minimum requis pour assurer sa stabilité et éviter l'affouillement. L'enrochement devrait être limité aux approches des ouvrages et l'utilisation des techniques de génie végétal devrait être favorisée à l'extérieur de celles-ci. De plus, le lit du cours d'eau reconstruit dans la zone des approches devrait assurer le libre passage du poisson, c'est-à-dire par exemple qu'il devrait être étanche et présenter un chenal d'étiage efficace.

5.2 Reconstitution de cours d'eau

En dehors des approches du ponceau, il arrive fréquemment qu'une reconstitution de cours d'eau doive être réalisée jusqu'aux points de jonction avec le cours d'eau naturel non touché par les travaux. Le cours d'eau reconstitué, incluant son lit et ses berges, devrait être réaménagé afin d'optimiser la quantité et la qualité de l'habitat du poisson. Pour y arriver, il est important de favoriser des conditions diversifiées, par la mise en place de différents faciès d'écoulement et de substrats favorables au poisson. Ces types de milieu peuvent favoriser des fonctions pour le poisson (ex. : frayères, abris, alimentation et alevinage). L'utilisation de techniques de stabilisation des berges par le génie végétal est préconisée. Celles-ci devraient favoriser des strates arbustives et herbacées indigènes surplombantes (au-dessus du cours d'eau).



Il est également important que les tronçons reconstitués assurent le passage du poisson. En effet, un obstacle à l'extérieur d'un ponceau invaliderait tout le travail réalisé dans celui-ci pour assurer le libre passage du poisson. Afin d'assurer le libre passage et de conserver des habitats diversifiés, les reconstitutions de cours d'eau devraient aussi être conçues afin que les objectifs généraux suivants soient atteints :

- Favoriser des aménagements du même style fluvial que le cours d'eau naturel avant les travaux;
- Composer le substrat du lit du cours d'eau reconstitué d'un revêtement stable présentant une similarité importante avec un substrat naturel;

- Aménager un lit reconstitué étanche afin d'assurer une profondeur d'eau suffisante au-dessus du substrat. Pour ce faire, utiliser des matériaux présentant une granulométrie étalée et continue;
- Aménager un chenal d'étiage (**thalweg**) afin de concentrer l'écoulement en période de faible débit.

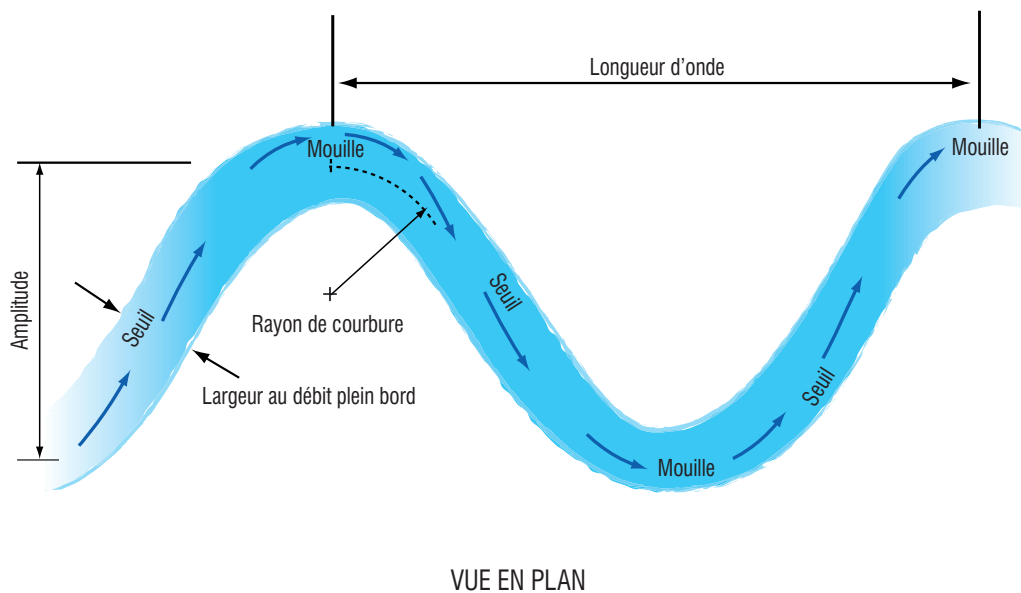
Certains concepts de simulation de cours d'eau présentés à la section 3.3 (ex. : étanchéité de la matrice, chenal d'étiage, méthodes de mélange) peuvent être utilisés pour les reconstitutions de cours d'eau. Cependant, les contraintes associées aux reconstitutions de cours d'eau sont moins importantes que celles des simulations de cours d'eau à l'intérieur d'un ponceau. Par exemple, les reconstitutions de cours d'eau ne sont pas confinées par les murs d'un ouvrage linéaire. De plus, les substrats n'ont pas besoin d'être immobiles alors les reconstitutions peuvent être en équilibre dynamique comme un cours d'eau naturel. Par ailleurs, la construction est simplifiée.

En conséquence, les reconstitutions devraient pouvoir reproduire le cours d'eau naturel tel qu'il était avant les travaux, permettant ainsi le libre passage du poisson. Si la **pente** du tronçon à reconstituer est différente de la pente naturelle avant les travaux, la conception devrait être basée sur un tronçon de référence (voir Annexe II) du cours d'eau présentant une pente similaire à celle du tronçon à reconsti-

tuer. Si un tel tronçon de référence n'est pas disponible sur le cours d'eau naturel, il est possible d'opter pour une conception théorique afin de déterminer les principaux paramètres du style fluvial adapté à la pente du tronçon reconstitué, à condition que celle-ci demeure tout de même adéquate pour le libre passage des espèces de poissons présentes. Dans le cas des segments de cours d'eau ayant une pente inférieure à 3 %, il est recommandé de reproduire un cours d'eau de style lit uniforme ou seuils-mouilles, alors que dans le cas des segments de cours d'eau ayant des pentes supérieures à 3 %, on recommande de reproduire un cours d'eau de style marche-cuvette (voir Annexe I).

À titre d'exemple, la conception théorique d'une reconstitution de cours d'eau de style seuils-mouilles devrait intégrer une **sinuosité** en plan et en profil avec une modulation des calibres des substrats. Les rapides devraient être situés dans la section rectiligne du lit reconstitué et les mouilles (fosses) devraient être prévues à l'extérieur des courbes. La longueur d'onde d'un méandre (voir figure 5.1), est très variable dans la nature. Cependant, des valeurs situées entre 10 et 14 fois la largeur au débit plein bord sont souvent utilisées (ou 5 à 7 fois la LDPB pour la distance entre deux rapides). De la même façon, les valeurs des rayons de courbure souvent utilisés se situent autour de 2 à 3 fois la LDPB. Diverses équations théoriques existent également pour déterminer les paramètres des sections transversales du cours d'eau reconstitué.

FIGURE 5.1 - SCHÉMA D'UN MÉANDRE



5.3 Drainage des eaux de ruissellement

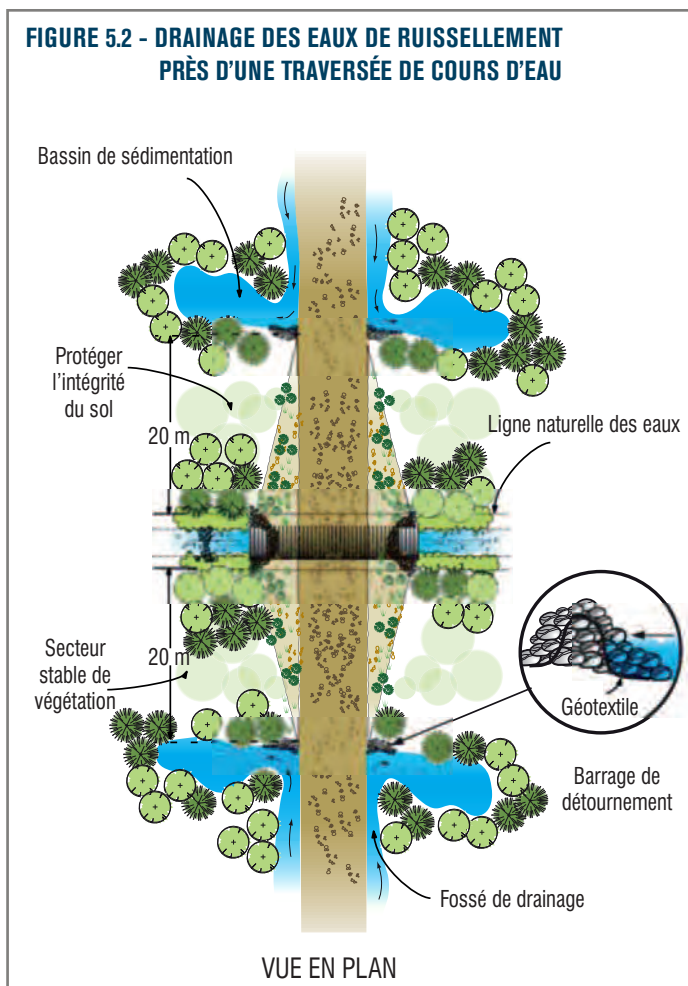
Les fossés de drainage des chemins peuvent apporter des quantités importantes de sédiments fins dans l'eau, particulièrement lorsqu'ils se déversent directement dans le milieu aquatique. Cette situation survient souvent à la suite de précipitations et au moment de la fonte printanière dans des fossés non stabilisés, ainsi qu'à l'occasion de travaux d'entretien de fossés. Les sédiments ainsi apportés au cours d'eau peuvent avoir des impacts sur l'habitat du poisson (ex. : colmatage de frayères) selon l'importance des apports.

En conséquence, il est important de bien concevoir et aménager les fossés de drainage à proximité d'une traversée de cours d'eau pour intercepter les sédiments fins avant qu'ils n'atteignent l'habitat du poisson.

Lorsqu'un promoteur prévoit construire des fossés de drainage près d'une traversée temporaire ou permanente de cours d'eau, il devrait appliquer les critères de conception suivants (voir figure 5.2) :

- Dévier les fossés de drainage à plus de 20 mètres de la **ligne naturelle des hautes eaux (LNHE)** vers des secteurs stables en végétation en aménageant des déflecteurs en roches adéquatement dimensionnés et munis d'un géotextile. Si possible, aménager plusieurs déflecteurs le long des fossés afin qu'ils soient soumis à de plus petits débits de drainage;
- Aménager des bassins de sédimentation de dimensions adéquates à plus de 20 mètres de la LNHE pour capter les eaux de ruissellement déviées;
- Créer une faible dépression dans la surface de roulement à 20 mètres de distance de la LNHE pour orienter les eaux de ruissellement vers les fossés de drainage de part et d'autre du chemin;
- Donner une forme arquée longitudinalement à la surface de roulement au-dessus de la traversée de cours d'eau pour orienter les eaux de ruissellement vers les dépressions créées à 20 mètres de la LNHE.

FIGURE 5.2 - DRAINAGE DES EAUX DE RUISSLEMENT PRÈS D'UNE TRAVERSÉE DE COURS D'EAU



6.0



6.0

À L'ÉTAPE DE LA CONSTRUCTION

Les promoteurs sont responsables de prendre des dispositions pour éviter, atténuer ou réduire les impacts potentiels sur le poisson et son habitat lors de la construction, de manière à se conformer à [Loi sur les pêches](#) et la [Loi sur les espèces en péril](#). En ce sens, une bonne planification préalable des travaux est primordiale, de même qu'un suivi environnemental efficace pendant la période de construction.

Il incombe aux promoteurs de déterminer les enjeux de leurs projets et de prévoir des mesures concrètes et adaptées aux sites visés. Les éléments qui suivent fournissent des orientations générales pour élaborer des mesures à considérer pour éviter les dommages causés au poisson et son habitat ainsi que pour assurer le libre passage du poisson. Les mesures décrites ci-dessous sont données à titre d'exemples, et ne constituent pas une liste exhaustive.



6.1 Libre passage du poisson

Le libre passage du poisson doit être assuré pendant la période des travaux de construction si celui-ci est requis aux sites de traversées de cours d'eau. Par exemple, les dérivations temporaires, les batardeaux ainsi que les ponts et jetées temporaires pourraient devoir être conçus pour permettre le libre passage du poisson.

À l'étape de la construction, il est important de vérifier que les ouvrages construits correspondent aux plans et devis élaborés afin de permettre le libre passage du poisson. En effet, le libre passage du poisson dépend du respect d'un ensemble de critères et pourrait être compromis par de légères différences entre les ouvrages construits et les documents analysés par le Ministère. Le cas échéant, si des correctifs devaient être apportés, il est avantageux de les réaliser avant la démobilitation du chantier.

6.2 Autres enjeux

Outre le passage du poisson, d'autres aspects devraient être considérés par les promoteurs lors de la planification et la réalisation des travaux de construction afin d'assurer la protection du poisson et son habitat.

6.2.1 Calendrier de réalisation des travaux

Pour protéger la fraie, l'incubation des œufs, l'alevinage et la migration des poissons pendant une période particulièrement sensible, il est important de planifier les travaux, dans ou à proximité de l'eau, en dehors des périodes sensibles pour les espèces de poissons présentes. La réduction de la durée des interventions dans le milieu aquatique permettra aussi de diminuer l'ampleur des dommages potentiels à l'habitat du poisson.

6.2.2 Contrôle de l'érosion et du transport des sédiments

À l'étape de la construction, l'érosion des sols mis à nu par le déboisement, le terrassement des aires de travail, la gestion des déblais et des eaux sur le chantier sont des sources de sédiments susceptibles de nuire au poisson et à son habitat. Il faut prévoir la mise en place de mesures efficaces, et assurer leur entretien régulier pour limiter l'érosion et l'apport de sédiments provenant du chantier dans le milieu aquatique.

Les mesures de protection contre l'apport de sédiments dans le milieu aquatique sont diverses et doivent être planifiées selon les caractéristiques du site visé. Les barrières à sédiments, les bermes filtrantes, les bassins de sédimentation et la déviation des eaux de chantier vers des zones de végétation en sont quelques exemples.

6.2.3 Protection du poisson

Lors des travaux dans ou à proximité de l'eau, certaines interventions sont susceptibles de causer la mort de poissons. Le confinement de poissons dans l'enceinte de batardeaux lors de l'assèchement de la zone des travaux, l'aspiration de poissons lors du pompage, sans oublier les dommages physiques susceptibles d'être causés aux poissons à tous les stades de leur développement par les ondes produites lors de levés sismiques ou par l'utilisation d'explosifs, sont des exemples d'activités pouvant causer la mort de poissons, sans que cela n'ait été autorisé par le Ministère.

Des mesures pour assurer la protection des poissons peuvent permettre de réduire au minimum ces impacts. Entre autres,

il faut prévoir un plan pour récupérer et relâcher les poissons captifs et utiliser des dispositifs comme un grillage ou une crépine à l'entrée de tuyau de pompage afin d'éviter l'aspiration des poissons. Dans le cas des activités de levés sismiques et de dynamitage, l'évaluation des impacts et le choix des mesures d'atténuation possibles sont d'autant plus complexes et devraient être confiés à un professionnel qualifié.

6.2.4 Ouvrages temporaires et remise en état des lieux

La réalisation de plusieurs projets nécessite l'installation d'infrastructures temporaires dans l'habitat du poisson, comme des dérivations temporaires, des jetées ou des batardeaux, pour avoir accès aux sites des travaux ou pour construire les structures permanentes. Ces ouvrages temporaires peuvent avoir des conséquences importantes et parfois permanentes sur le milieu. En effet, ils sont susceptibles d'empêcher les poissons d'avoir accès à des habitats d'importance et de détériorer les habitats, même après leur démantèlement. Ils peuvent également occasionner des modifications de vitesses d'écoulement par le rétrécissement du cours d'eau, et ainsi nuire au libre passage du poisson. L'ampleur et l'intensité des impacts dépendront du nombre d'ouvrages installés, de la dimension de l'empiètement et des matériaux utilisés pour les construire.



Les mesures pour atténuer les impacts des ouvrages temporaires dans le milieu aquatique sont nombreuses et doivent être planifiées selon les caractéristiques du site visé. Les meilleures pratiques pour limiter les impacts potentiels sur le poisson et son habitat consistent à limiter au minimum l'ampleur des empiètements de ces ouvrages, de bien prévoir leur configuration afin de maintenir les fonctions d'habitats du poisson,

et de concevoir des ouvrages qui résisteront aux conditions hydrauliques susceptibles de survenir pendant la période des travaux.

Un autre aspect non négligeable est relié au démantèlement des ouvrages temporaires, qui requiert une remise en état optimale des lieux le plus rapidement possible, et ce sur l'ensemble des superficies perturbées par les travaux.

La remise en état des lieux peut s'avérer complexe et coûteuse, surtout si elle n'est pas bien planifiée. Les promoteurs devraient développer un plan de remise en état pour chacun des secteurs affectés par les travaux temporaires afin de restaurer les fonctions d'habitat du poisson dans les milieux aquatiques touchés, ainsi que stabiliser les rives perturbées par les travaux. Ce plan devrait être mis en œuvre à mesure que les ouvrages temporaires sont démantelés.

6.2.5 Gestion de l'eau

La gestion de l'eau en amont et en aval de la zone des travaux doit être examinée attentivement par les promoteurs afin d'éviter les impacts sur le poisson et son habitat durant la construction. Il faut planifier les travaux de façon à assurer en tout temps une circulation et un apport d'eau suffisants pour maintenir les fonctions d'habitat du poisson (ex. : alimentation, alevinage, fraie) présentes en amont et en aval de la zone des travaux. De plus, au retour des eaux de chantiers vers le milieu aquatique, les méthodes utilisées devraient permettre de limiter l'apport de sédiments et de réduire les risques de développement de foyers d'érosion des rives en amont ou en aval des travaux.

6.2.6 Travaux en période hivernale

La réalisation de travaux de construction en hiver peut occasionner des impacts additionnels non prévisibles au poisson et à son habitat en raison de facteurs climatiques qui prévalent à cette période de l'année. La variation imprévisible des débits, la présence des glaces et l'inefficacité de plusieurs mesures d'atténuation sont parmi les principaux problèmes et contraintes techniques qui peuvent être rencontrés. C'est pourquoi, pour les chantiers d'hiver, des mesures additionnelles (ex. : atténuation, conception des ouvrages temporaires, suivi) sont nécessaires par rapport aux chantiers qui ont lieu en période estivale.

La planification des mesures de protection du poisson et de son habitat en phase de construction est parfois complexe, mais nécessaire. Si besoin est, les promoteurs devraient demander l'avis d'un professionnel qualifié pour s'assurer de prendre les dispositions appropriées pour la réalisation de leur projet.

Le Ministère peut également fournir des informations supplémentaires et des conseils concernant l'élaboration de mesures d'atténuation spécifiques qui tiendront compte de conditions particulières sur un site d'intervention, ou pour répondre à des questions ou sujets qui ne sont pas traités dans ce document.

7.0



70

AUX ÉTAPES DU SUIVI ET DE L'ENTRETIEN

Suite à la réalisation des travaux, le promoteur est responsable d'assurer en permanence le libre passage du poisson aux traversées de cours d'eau où celui-ci est requis. Il est à noter que lorsqu'il est question du libre passage du poisson dans les aménagements, il est implicite que les aménagements incluent le ponceau ainsi que toutes les sections de cours d'eau touchés par les travaux, jusqu'aux jonctions avec le cours d'eau naturel.

Pour atteindre cet objectif, le promoteur devrait mettre en place un programme de suivi et d'entretien régulier, et, au besoin, apporter les correctifs nécessaires pour que chacun des aménagements réalisés dans le cadre d'une traversée de cours d'eau demeure efficace. La fréquence des inspections et de l'entretien dépend de divers facteurs et varie généralement dans le temps.

Le promoteur a également la responsabilité d'effectuer notamment le suivi et l'entretien des fossés de drainage des eaux de ruissellement et des habitats du poisson reconstitués. Ceux-ci doivent demeurer efficaces pour intercepter les sédiments fins avant qu'ils n'atteignent l'habitat du poisson.

Les prochaines sections présentent des recommandations pour aider les promoteurs à réaliser des suivis à long terme sur le passage du poisson. Le Ministère pourrait également demander, après l'analyse d'un projet spécifique, des suivis différents sur le passage du poisson ou sur d'autres enjeux. Dans ces situations, les rapports de suivis devraient être transmis au Ministère.

7.1 Fréquence des suivis

Dans un premier temps, immédiatement après la réalisation des travaux, un suivi devrait être réalisé à chacune des traversées pour vérifier que les aménagements construits respectent tous les critères de conception prévus pour assurer le libre passage du poisson. L'examen post-construction, s'il permet de conclure que le libre passage est assuré, pourrait servir de conditions initiales pour les suivis ultérieurs.

Pendant les premières années après la construction, le cours d'eau et les aménagements seront en période d'ajustement. Les suivis pendant cette période devraient être plus fréquents.

Par la suite, la fréquence pourrait être ajustée en fonction des risques évalués à chacune des traversées, en tenant compte des résultats des suivis antérieurs.

Des suivis ponctuels devraient également être réalisés à la suite d'événements hydrologiques d'importance.

7.2 Paramètres à suivre

Les suivis à long terme sont généralement relativement simples si les aménagements sont conçus en respectant les recommandations du présent document, s'ils sont construits tels que conçus et si les suivis des premières années ne laissent présager aucun problème. Dans ces situations, les suivis pourraient se limiter à certains paramètres physiques et une comparaison de leur évolution. Dans d'autres circonstances, le suivi pourrait prendre de l'ampleur selon le risque pour le passage du poisson.

7.2.1 Paramètres généraux

Le programme de suivis devrait être planifié en prévoyant une méthodologie reproductible année après année.

Certains paramètres de base sont communs à la plupart des suivis de l'efficacité du passage du poisson, dont les conditions météorologiques et hydrologiques, les données hydrométriques, les informations sur les attroupements de poissons, la présence de débris ou d'autres obstacles, les indices d'altérations des ouvrages, les signes d'instabilité, d'érosion ou d'affouillement, et les accumulations de sédiments.

Lors de tous les suivis, une attention particulière devrait également être accordée aux photographies puisque celles-ci sont une source d'information très importante. Les photographies devraient donc être nombreuses, bien localisées et bien identifiées, claires et de bonne taille afin de voir tous les détails importants. Les prises de vue recommandées communes à tous les types d'aménagements sont présentées à la figure 7.1. D'autres séries de photos seront requises pour illustrer différents paramètres spécifiques.

Le **profil en long** (élévation du **thalweg** et profondeur d'eau) est particulièrement informatif pour l'analyse du succès de passage (ex.: **pent**es, ruptures de pente, variation des profondeurs d'eau). L'évolution du profil en long permet également de suivre les ajustements dans le temps et de déceler les problèmes, comme l'**érosion régressive** et l'accumulation de sédiments.

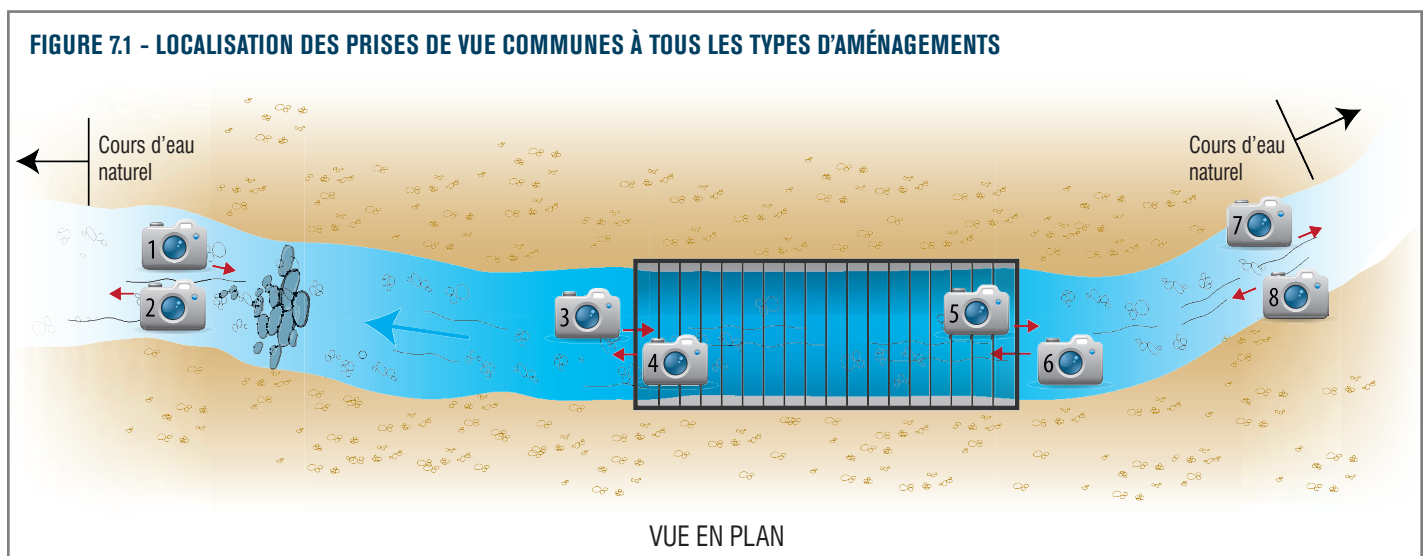
7.2.2 Paramètres spécifiques

7.2.2.1 Simulation et reconstitution de cours d'eau

Cette section s'applique aux ponceaux à simulation de cours d'eau, aux ponceaux à contour ouvert ainsi qu'aux reconstitutions de cours d'eau en amont ou en aval de tout type d'aménagement.

Des photographies supplémentaires à celles illustrées à la figure 7.1 devraient inclure notamment le substrat du lit reconstitué, les endroits où sont anticipés ou constatés des situations particulières comme de l'érosion, de la déposition, des bris de pentes et de l'infiltration. Des croquis en plan et des coupes peuvent également être utiles pour illustrer les éléments importants.

Parmi les informations supplémentaires à ajouter sur le profil en long décrit à la section 7.2.1, notons la mesure de l'épaisseur du lit simulé (au moyen de la hauteur libre au-dessus du substrat). Des références chronologiques relatives à l'épaisseur du lit pourraient au besoin être peintes sur les murs du ponceau.



Parmi les enjeux du succès du passage du poisson d'une simulation ou d'une reconstitution de cours d'eau, notons l'importance de vérifier la stabilité de la matrice des substrats, ainsi que de vérifier l'efficacité de l'étanchéité du lit reconstitué et du chenal d'étiage pour maintenir une profondeur d'eau comparable à celle qui prévaut dans le cours d'eau naturel au même moment.

7.2.2 Ponceaux à déversoirs et ouvrages en aval d'un ponceau existant

Dans le cas de déversoirs et d'ouvrages dans le cours d'eau, des photographies supplémentaires à celles illustrées à la figure 7.1 devraient inclure notamment l'écoulement dans une encoche typique, l'ensablement dans les bassins du ponceau, le cas échéant, le refoulement du dernier déversoir aval à l'intérieur du ponceau, le bassin de dissipation d'énergie, et des vues rapprochées de l'ensemble du seuil en aval de ce bassin. Pour les ouvrages dans le cours d'eau, les photographies devraient illustrer notamment l'ensemble des ouvrages, les dénivelés, les bassins et le dernier ouvrage en aval.

Parmi les élévations à ajouter sur le profil en long d'un ponceau à déversoirs, notons celles du radier aval du ponceau, du fond du bassin de dissipation d'énergie et du seuil en aval du bassin. Pour les ouvrages dans le cours d'eau, le profil en long devra inclure le radier aval du ponceau, le fond de l'encoche de chaque ouvrage ainsi que le fond de chaque bassin entre les ouvrages.

Parmi les enjeux pour le succès du passage du poisson dans les ponceaux à déversoirs, notons l'importance de vérifier l'enneigement du dernier déversoir aval dans le ponceau ainsi que de s'assurer que la configuration du seuil ne devienne un obstacle au passage du poisson. L'enneigement du dernier déversoir dépend de l'élévation, de l'étanchéité et du chenal d'étiage du seuil en aval du bassin de dissipation d'énergie.

Concernant les ouvrages dans le cours d'eau, notons l'importance de vérifier les enjeux associés au maintien de dénivelés adéquats entre les ouvrages et de volumes d'eau suffisants dans les bassins (pas d'accumulation de sédiments) ainsi qu'à l'étanchéité des aménagements pour que tout le débit passe par les encoches.

7.2.3 Ponceaux à refoulement

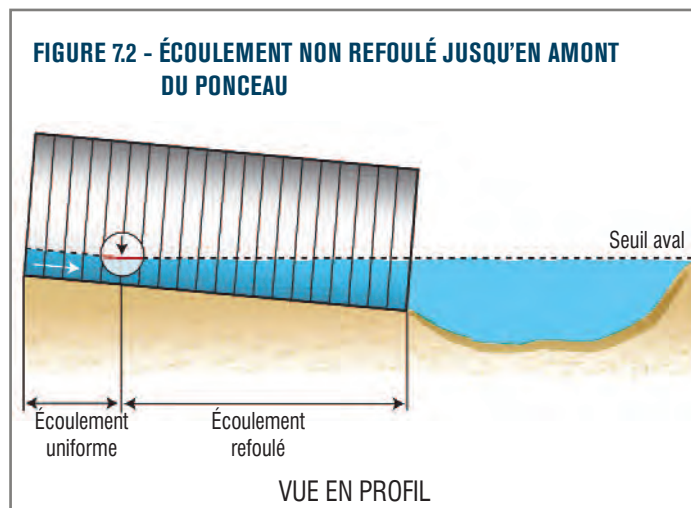
Des photographies supplémentaires à celles illustrées sur la figure 7.1 devraient inclure notamment le bassin en aval du ponceau, des vues rapprochées de l'ensemble du seuil, l'accumulation de sédiments à l'intérieur du ponceau, les types d'écoulement dans le ponceau, le refoulement de l'eau

à partir du seuil aval ainsi que les conditions hydrauliques à l'entrée amont du ponceau et dans la zone de transition en amont.

Parmi les élévations à ajouter sur le profil en long d'un ponceau à refoulement, notons la profondeur d'eau aux extrémités du ponceau (mesurées à environ 0.3 mètre à l'intérieur du ponceau), les élévations et les profondeurs d'eau à des points rapprochés entre le radier amont du ponceau et le cours d'eau naturel, la localisation du changement d'un écoulement refoulé à un écoulement uniforme le cas échéant (voir la figure 7.2), le radier aval du ponceau, le fond du bassin et l'élévation du seuil.

Parmi les enjeux pour le succès du passage du poisson dans les ponceaux à refoulement, notons l'importance de vérifier le maintien de l'élévation du seuil et du refoulement de l'eau jusqu'en amont du ponceau ainsi que l'absence d'obstacles localisés au passage du poisson.

Le refoulement dépend de l'élévation, de l'étanchéité et du chenal d'étiage du seuil. Les principaux obstacles localisés à surveiller sont liés à la configuration du seuil en aval et à la présence d'un écoulement uniforme dans le ponceau (mesure de longueur et vitesse requises, voir figure 7.2), ainsi qu'aux conditions hydrauliques dans la zone de transition entre le cours d'eau naturel et le radier amont du ponceau et à la contraction de l'écoulement par l'entrée amont du ponceau, qui peut générer des vitesses infranchissables pour le poisson.





ANNEXE I

NOTIONS DE GÉOMORPHOLOGIE

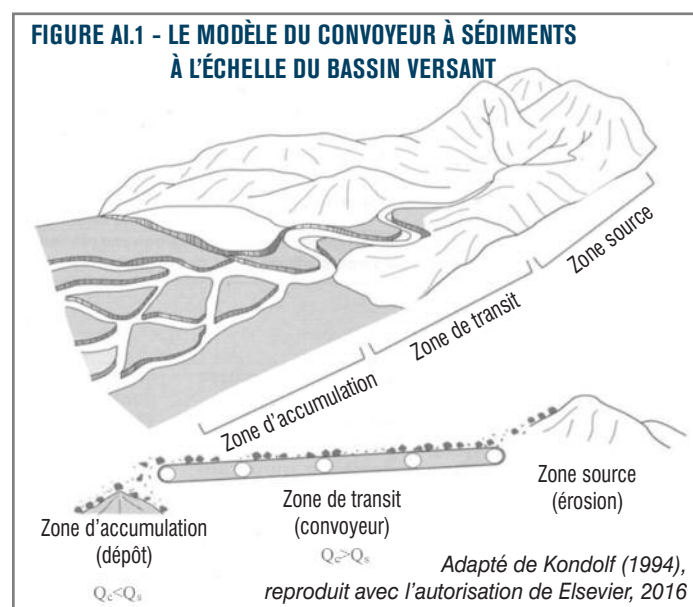
Les notions de géomorphologie présentées ici sont vulgarisées et ont comme objectif de faciliter la compréhension du présent document et d'outiller le lecteur pour analyser des situations simples.

Les informations présentées visent d'une part à fournir des outils pour cibler les sites propices ou non aux traversées de cours d'eau. D'autre part, elles ont pour but d'inciter les promoteurs à considérer le contexte géomorphologique dans lequel sont insérés les ouvrages de traversées de cours d'eau, et d'y donner l'importance requise lors de la conception, en particulier lorsqu'ils sont localisés dans un secteur plus à risque.

L'annexe n'élimine pas le besoin de recourir aux services de géomorphologues professionnels pour obtenir des avis spécifiques.

AI-I TRANSPORT DE SÉDIMENTS

Les cours d'eau fonctionnent un peu comme un convoyeur de sédiments (voir figure AI.1). Les sédiments sont transportés de la zone source en amont vers la zone d'accumulation en aval du bassin versant. Ces deux zones sont reliées par une zone de transit, associée au convoyeur de sédiments.



Dans une certaine mesure, la fréquence à laquelle les sédiments du lit sont mobilisés est calquée sur cette organisation spatiale. En amont, les événements hydrologiques qui forment le relief sont plus rares et épisodiques. Les sédiments apportés au chenal sont rapidement mis en transport et convoyés vers l'aval. En aval, les épisodes de transport sont plus fréquents, soit plusieurs fois par année dans le cas des cours d'eau à lits sableux.

Les secteurs de cours d'eau plus réactifs sont souvent situés à la transition entre la zone limitée par les apports sédimentaires, ou le débit solide (Q_s), et la zone limitée par la **capacité de transport** (Q_c). Tel qu'illustré sur la figure AI.1, cette zone de transition est souvent située au pied de massifs montagneux à forte pente ou coïncidente avec le début de la plaine alluviale. Dans certains cas, le délestage des sédiments entraîne une **aggradation** (sédimentation) soutenue, force le chenal à se déplacer et, par ce déplacement continu de chenaux en accumulation, entraîne la construction d'un cône de sédiments, c'est-à-dire un cône alluvial. Ce type de morphologie associée à une aggradation soutenue est aussi caractéristique des systèmes deltaïques. La morphologie des cours d'eau de ces secteurs est susceptible de réagir promptement, et aucune stratégie de conception n'est adaptée à ce type de conditions géomorphologiques. Il est donc conseillé d'éviter ces secteurs à l'étape du choix du tracé de l'infrastructure.

L'identification de la zone de transport de sédiments dans laquelle se situe la traversée ainsi que sa proximité avec les autres zones aideront le concepteur à évaluer le potentiel de réponse géomorphologique du cours d'eau à l'installation des ouvrages. Les outils tels que les cartes topographiques et les photos aériennes sont très utiles à cette étape.

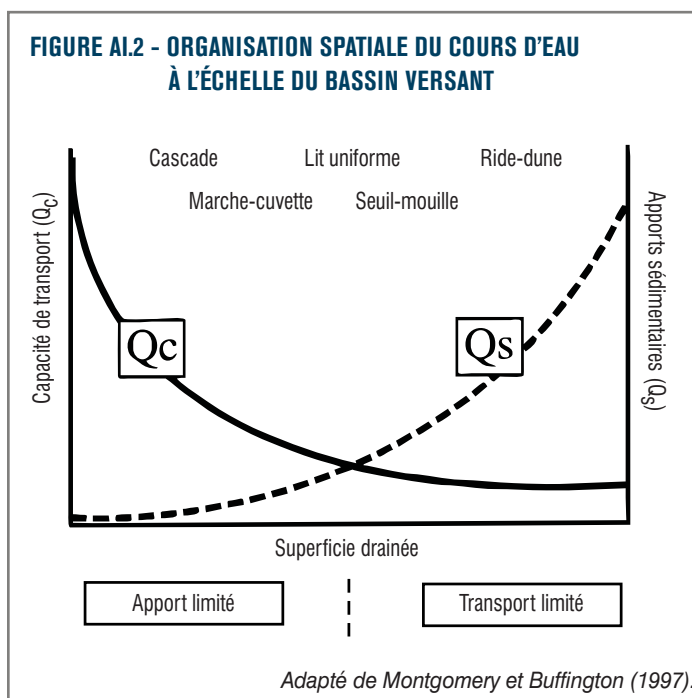
Il est à noter que le modèle ne s'applique pas seulement à l'échelle du bassin versant. Des « mini-convoyeurs » peuvent être observés à une échelle plus locale, de même que les secteurs instables à éviter lors de l'établissement d'un tracé d'infrastructure. Ces « mini-convoyeurs », s'ils ne peuvent être détectés sur des cartes ou des photographies aériennes, peuvent être reconnus sur le terrain (voir Annexe II), par exemple par la présence d'un **ratio de pentes** (RP) positif ou parce que le cours d'eau présente des caractéristiques qui ressemblent à celles des styles fluviaux qui causent

problèmes à l'échelle du bassin versant (section AI-II). La présence de gros bancs de sédiments au centre du cours d'eau est également un indice de site problématique (charge sédimentaire importante ou aggradation). Lors de l'identification de secteurs instables à l'échelle locale, il faut porter une attention particulière aux cours d'eau ayant subi des modifications anthropiques qui peuvent faussement sembler stables. Dans ces situations, le recours à des photographies historiques est souvent nécessaire.

AI-II STYLES FLUVIAUX

Les styles fluviaux permettent de tirer des informations précieuses, souvent à partir d'une simple appréciation visuelle de photographies aériennes ou, dans le cas des petits cours d'eau, lors d'une visite sur le terrain (Annexe II). Les styles fluviaux dépendent des contextes physiographiques, géomorphologiques et anthropiques du bassin versant.

Il existe plusieurs classifications de styles fluviaux pour qualifier les types de transport des sédiments et les processus dominants dans l'évolution du cours d'eau. Montgomery et Buffington (1997) ont proposé une organisation longitudinale des styles fluviaux, de l'amont vers l'aval, à l'échelle du bassin versant (voir figure AI.2), basée sur le poids relatif de la capacité de transport (Q_c) et du débit solide (Q_s).



Montgomery et Buffington (1997) définissent deux grands domaines, soit les cours d'eau limités par les apports de sédiments en amont ($Q_c > Q_s$), associés à des cours d'eau de type cascades et marches-cuvettes, et les cours d'eau limités par la capacité de transport en aval ($Q_c < Q_s$), associés à des cours d'eau de type seuils-mouilles ou à des rides et dunes. Les cours d'eau à lit uniforme sont quant à eux associés à la transition entre les deux domaines.

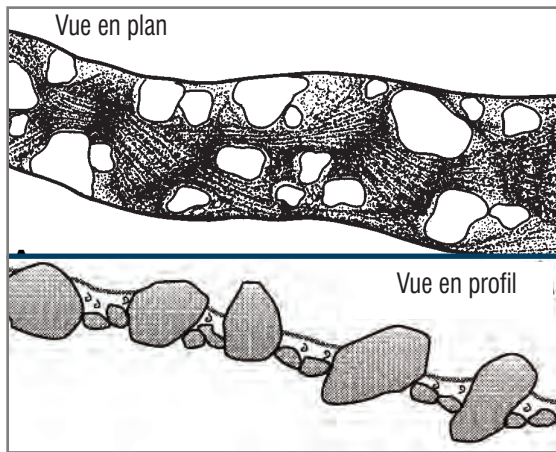
Les lits des cours d'eau de type cascades et marches-cuvettes peuvent rester stables durant une longue période de temps entre deux événements hydrologiques morphogènes. Par contre, les cours d'eau à lits uniformes, à seuils-mouilles et à rides et dunes, sont plus sensibles aux fluctuations dans les régimes hydrologiques et sédimentaires. Ils sont par conséquent plus prompts à s'ajuster si des sources sédimentaires sont activées lors d'un épisode hydrologique, ce qui doit être considéré lors de la localisation des traversées de cours d'eau, et le cas échéant, lors de la conception des ouvrages.

La figure AI.3 présente des vues en plan et en profil des styles fluviaux de la classification de Montgomery et Buffington (1997).

D'autres types de cours d'eau peuvent s'avérer problématiques dans le cadre des projets de traversée de cours d'eau. Les styles divagants, à tresses ou la présence d'anabranches (chenaux secondaires), présentés sur les photos suivantes, sont souvent indicatifs d'une charge de fond (sédiments charriés sur le lit du cours d'eau) substantielle ou d'une dynamique d'**aggradation** en sédiments. Ces cours d'eau sont par définition très mobiles et moins propices à la présence de traversées de cours d'eau.

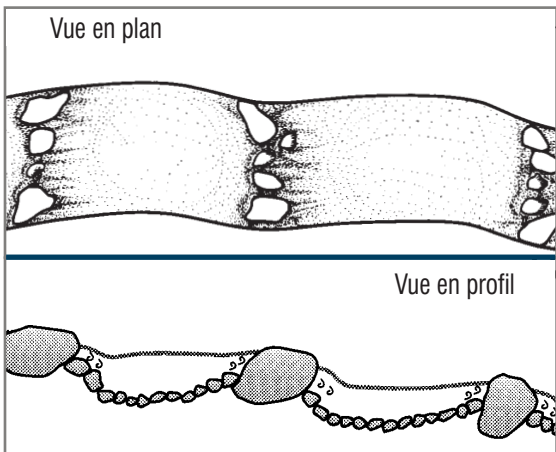


FIGURE A1.3 - STYLES FLUVIAUX



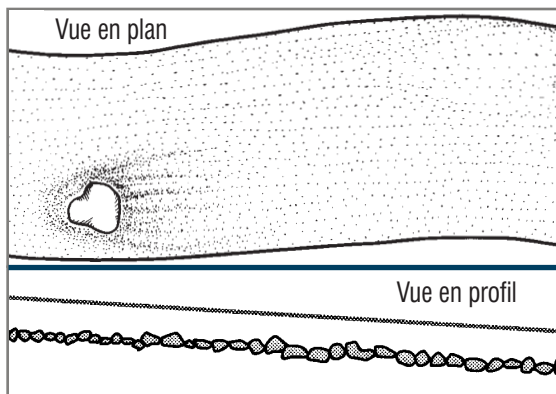
CASCADE

($S \approx 3-20\%$)



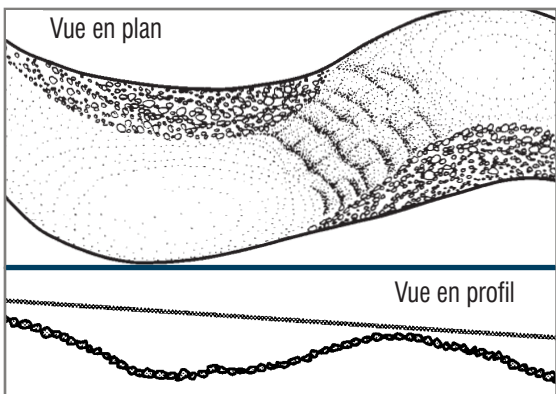
MARCHE-CUVETTE

($S \approx 2-9\%$)



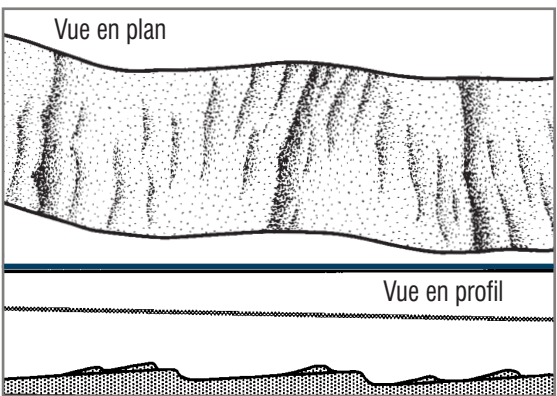
LIT UNIFORME

($S \approx 2-5\%$)



SEUIL-MOUILLE

($S \approx 0.1-3\%$)



RIDE-DUNE

($S < 0.1\%$)

Adapté de Montgomery et Buffington (1997)

AI-III ÉQUILIBRE DYNAMIQUE

Un cours d'eau est en équilibre dynamique s'il y a une balance à long terme entre la quantité d'eau et de sédiments produits par le bassin versant, et la capacité du cours d'eau à les transporter. Dans un système en équilibre dynamique, le cours d'eau n'est pas immobile. Le lit peut s'éroder, des sédiments peuvent s'accumuler et le cours d'eau peut migrer latéralement. C'est sur une longue période de temps que les caractéristiques moyennes du tronçon sont maintenues et que le bilan sédimentaire est en équilibre.

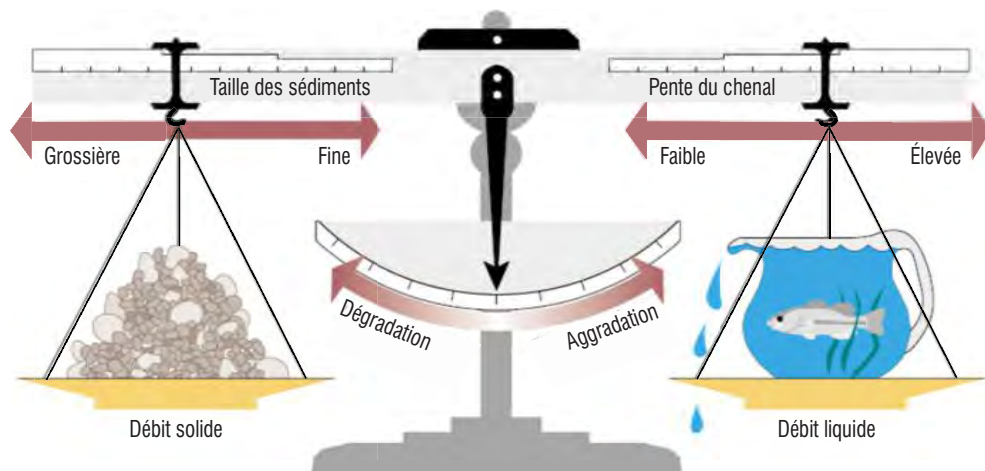
Une analogie intéressante pour comprendre l'effet de la variation de différents facteurs qui conditionnent la dynamique sédimentaire est la balance de Borland/Lane (figure AI.4). Elle montre que toute rivière cherche l'équilibre entre la charge alluviale (débit solide et granulométrie des sédiments) et l'énergie capable de l'évacuer (débit liquide et **pente**). Le principe de l'équilibre dynamique peut donc être représenté comme l'oscillation permanente de l'aiguille de la balance autour de sa position centrale. Cette oscillation représente l'ajustement constant de la morphologie du cours d'eau, autour de conditions moyennes, par des processus d'érosion et de déposition. Les cours d'eau en équilibre dynamique sont donc en constante évolution en ajustant continuellement leurs caractéristiques physiques, comme leur largeur, profondeur, pente ou **sinuosité**.

Les oscillations de faibles amplitudes et durées correspondent à des ajustements mineurs à l'échelle locale. En contrepartie, les fortes oscillations de longue durée correspondent à des ajustements plus importants sur le plan de la morphologie et des processus à l'échelle de tronçons parfois très étendus.

La plupart des cours d'eau sont donc en constante évolution et sont caractérisés par une succession de phases d'érosion et de dépôts qui s'équilibrent à long terme. Les variations naturelles d'un cours d'eau en équilibre dynamique qui sont anticipées pendant la vie utile des aménagements doivent être considérées lors du positionnement d'une infrastructure et du choix d'un type d'ouvrage approprié.

Par ailleurs, il est nécessaire de déterminer si les caractéristiques du cours d'eau sont représentatives d'un équilibre dynamique ou si celui-ci est en voie d'évoluer vers un nouvel état d'équilibre dynamique. En d'autres mots, il s'agit d'identifier le seuil à partir duquel les modifications ne sont plus liées au processus d'équilibre dynamique mais deviennent des indicateurs de déséquilibre du cours d'eau. Une inspection visuelle des photographies aériennes à des dates successives permet souvent de cibler les secteurs en équilibre dynamique et ceux qui ne le sont pas.

FIGURE AI.4 - LA BALANCE DE BORLAND/LANE



Adapté de Rosgen (1996), de Lane, *Proceedings*, (1955), reproduit avec l'autorisation de l'American Society of Civil Engineers, 2016

Les cours d'eau peuvent être en déséquilibre à la suite d'événements hydrologiques plus rares, auxquels cas les changements observés sont temporaires. Ils peuvent également être en déséquilibre à la suite de changements anthropiques dans les usages du bassin versant, auxquels cas les changements observés sont plutôt représentatifs de changements qui pourraient persister dans le temps. L'apparence actuelle de plusieurs cours d'eau du Québec est l'héritage d'interventions anthropiques passées. Dans plusieurs de ces cas, les cours d'eau sont actuellement en période d'ajustement, par exemple en réponse à des interventions de dragage ou de linéarisation.

L'élaboration de la trajectoire géomorphologique d'un cours d'eau est un outil qui peut contribuer à comprendre les facteurs qui contrôlent la géomorphologie (ex : événements hydrologiques, interventions anthropiques, changements environnementaux). Cette trajectoire géomorphologique peut être mise en évidence visuellement par la comparaison de photographies aériennes historiques, ou de façon plus détaillée par la quantification de variables morphométriques associées à la géométrie du chenal (ex. : largeur, superficie des bancs d'accumulation) ou à sa dynamique (ex. : érosion de berges, recoupement de méandres). Des évidences d'incision, d'**aggradation** et de stabilité recueillies sur le terrain (Annexe II) permettront de valider ces informations.

De plus, la compréhension de la séquence temporelle et de l'évolution spatiale historique est importante pour pouvoir anticiper les réponses futures d'un bassin versant. Dans les bassins versants naturels ou peu développés et qui le demeureront, l'équilibre dynamique ne devrait pas être une préoccupation, à moins d'événements particuliers comme des feux de forêt récents. Par contre, les impacts de développements anthropiques (ex. : urbanisation, barrage) passés, actuels ou projetés doivent être considérés dans l'analyse de l'état d'équilibre du cours d'eau dans le secteur de la traversée. Il importe donc de déterminer les changements dans le bassin versant qui pourraient éventuellement modifier l'approvisionnement en sédiments dans le secteur de la traversée.

Dans le cas des cours d'eau qui présentent ou qui pourraient présenter un déséquilibre durant la durée de vie des infrastructures, une analyse géomorphologique plus poussée devrait être réalisée pour identifier les facteurs en cause et déterminer s'il serait possible d'atténuer les perturbations. Si ce n'est pas possible avec les ressources disponibles, l'installation d'un ponceau n'est pas recommandée. Le déplacement du tracé ou l'installation d'un pont peuvent être des solutions à envisager.

ANNEXE III



ANNEXE III

INVENTAIRE REQUIS POUR LA CONCEPTION

La qualité des données recueillies lors de l'inventaire conditionne l'efficacité de la conception à assurer le libre passage du poisson. Pour recueillir des données de qualité, il importe de bien comprendre la géomorphologie du cours d'eau pour pouvoir sélectionner des éléments réellement représentatifs. Il est donc fortement recommandé de parcourir le cours d'eau sur des distances significatives en amont et en aval des aménagements avant de débiter la prise de données.

AII-I CHOIX DU TRONÇON À INVENTORIER

Le tronçon à inventorier devrait être suffisamment long pour inclure toutes les informations nécessaires à la conception et pour couvrir les éléments requis pour anticiper les ajustements géomorphologiques liés à la présence des aménagements projetés. Le tronçon à inventorier devrait également être assez long pour inclure, en amont et en aval des aménagements, plus d'une séquence complète du style fluvial du cours d'eau (voir Annexe I) qui demeurera naturelle après les travaux. À titre indicatif, une longueur minimale de 20-30 fois la largeur au **débit plein bord** (LDPB), en amont et en aval de la traversée, est généralement suffisante.

Si des ouvrages sont déjà en place, la longueur du tronçon à inventorier devrait être augmentée pour tenir compte de la dimension des sections influencées par leur présence, comme une **aggradation** en amont ou un affouillement en aval d'un ponceau.

Pour les ponceaux à simulation de cours d'eau, le tronçon à inventorier devrait inclure un tronçon de référence. Pour les nouveaux ponceaux, le tronçon de référence correspond idéalement, si la **pente** est conservée, au cours d'eau à l'emplacement où des aménagements sont projetés. Le choix du tronçon de référence devrait être basé sur les critères suivants :

- La pente devrait être similaire à la pente du ponceau projeté;
- Les débits devraient être équivalents à ceux qui prévalent à l'emplacement du ponceau projeté (ex. : pas de tributaires entre les deux tronçons, pas de discontinuité dans le transit sédimentaire comme la présence d'un barrage de castors);

- Le tronçon de référence devrait être au moins aussi long que le ponceau projeté;
- Le tronçon de référence devrait être linéaire ou peu sinueux;
- Les unités géomorphologiques du tronçon de référence devraient pouvoir s'harmoniser avec les sections de raccordement en amont et en aval des aménagements.

AII-II GÉOMORPHOLOGIE

Ce volet de l'inventaire vise à valider les informations recueillies lors de la reconnaissance géomorphologique (voir section 2.1), notamment le style fluvial et l'état d'équilibre dynamique du cours d'eau dans le tronçon à inventorier, et à caractériser les informations nécessaires pour la conception.

A) Styles fluviaux

Le faciès d'écoulement, une unité géomorphologique présentant des caractéristiques homogènes (ex. : profondeur d'eau, vitesse, substrat), est l'unité de base de la caractérisation du cours d'eau. La description des différents faciès d'écoulement devrait permettre de bien définir le style fluvial du cours d'eau (voir Annexe I). Le système retenu pour classer et nommer les faciès devrait être joint aux données d'inventaire.

B) Bilan sédimentaire : indicateurs sur le terrain

Sur le terrain, plusieurs indicateurs permettent de reconnaître un cours d'eau qui présente un bilan sédimentaire en équilibre ou en déséquilibre. Le tableau AII.1 en présente un résumé.

C) Bilan sédimentaire : puissance spécifique

Les cours d'eau activement en érosion ou en accumulation ne sont pas toujours marqués par une morphologie typée. La **puissance spécifique** (P_s) peut également être utile comme indicateur de la sensibilité à l'érosion ou au dépôt de sédiments dans le cours d'eau.

TABLEAU AII.1 - INDICATEURS DE TERRAIN POUR IDENTIFIER LES COURS D'EAU STABLES OU ACTIVEMENT EN ÉROSION OU EN AGGRADATION

SENS DU BILAN SÉDIMENTAIRE	INDICATEURS SUR LE TERRAIN
Évidences d'érosion	<ul style="list-style-type: none"> - Bancs d'accumulation perchés - Terrasses - Chenaux abandonnés - Anciens glissements de terrain - Affouillement des infrastructures - Racines d'arbres exposées - Chenal étroit et profond - Deux berges opposées (de part et d'autres du cours d'eau) en érosion par des décrochements - Lit compact (consolidation, imbrication) - Matériaux du lit surexposés dans les berges en érosion
Évidences d'aggradation	<ul style="list-style-type: none"> - Infrastructures ensevelies - Bancs de graviers larges, non compacts et sans végétation - Berges en érosion dans les secteurs peu profonds (seuils) - Espaces réduits sous les ponts et ponceaux - Épaisse couche de sédiments fins par-dessus la couche des matériaux du lit - Sols enfouis
Évidences de stabilité	<ul style="list-style-type: none"> - Berges et bancs d'accumulation végétalisés - Peu de berges en érosion - Vieille infrastructure toujours en place sans affouillement ou dépôts importants

Adapté de Sear et al. (1995)

P_S est une variable qui donne une mesure de l'énergie fournie par l'écoulement d'un cours d'eau par unité de surface (W/m^2) :

$$P_S = \rho \times g \times Q \times S / L$$

où ρ est la densité de l'eau (1000 kg/m^3), g est l'accélération gravitationnelle (9.81 m/s^2), Q est le débit (m^3/s), S est la **pente** d'énergie (m/m), et la L est la largeur du cours d'eau (m).

Pour utiliser P_S comme indicateur du bilan sédimentaire du cours d'eau, la valeur de Q à utiliser est le **débit plein bord**

(DPB) car il est le débit d'intérêt géomorphologique. Cependant, il serait adéquat, dans le présent contexte d'utilisation du P_S , de choisir la crue de récurrence 2 ans, parce qu'elle se rapproche du DPB et parce qu'elle est généralement déjà disponible. La valeur de L sera donc la LDPB et S peut être associée à la pente du cours d'eau (voir section AII-III) pour simplifier les calculs.

Un seuil sépare généralement les tronçons susceptibles de s'ajuster par le dépôt de sédiments, donc sujets à des problèmes d'ensablement et d'**aggradation** du lit ($< 15\text{-}25 \text{ W/m}^2$) des tronçons susceptibles de s'ajuster par l'érosion des berges ($> 25\text{-}35 \text{ W/m}^2$). Des zones dynamiques peuvent également coïncider avec une modification subite des valeurs de P_S .

D) Substrats

Le substrat devrait être caractérisé pour les différents faciès d'écoulement identifiés. La caractérisation devrait comprendre les éléments suivants :

- Une estimation du pourcentage associé à chacune des classes granulométriques. Les limites des classes granulométriques utilisées devraient être présentées avec les données d'inventaire. La présence ou l'absence de **pavage** devrait être notée, ainsi qu'une évaluation qualitative de son hétérogénéité et de sa compaction;



FSSSWG (2008)

Pavage d'un cours d'eau et de la matrice de matériaux plus fins

- Une évaluation du D_{100} , (soit la taille (diamètre) de la plus grosse pierre qui se trouve naturellement dans le cours d'eau). Pour l'évaluation du D_{100} , il faut exclure les rochers qui impliquent d'autres processus que l'écoulement du cours d'eau ou l'action des glaces, notamment les pierres d'origine glaciaire (bloc erratique) ou colluviale (provenant des versants des montagnes) et les pierres qui proviennent d'un enrochement artificiel;
- La vérification de la présence ou d'indices d'affleurement rocheux ou de blocs de taille importante qui pourraient nuire à l'enfouissement de la structure;
- Pour les ponceaux à simulation de cours d'eau, caractériser les éléments qui contribuent à la dissipation d'énergie

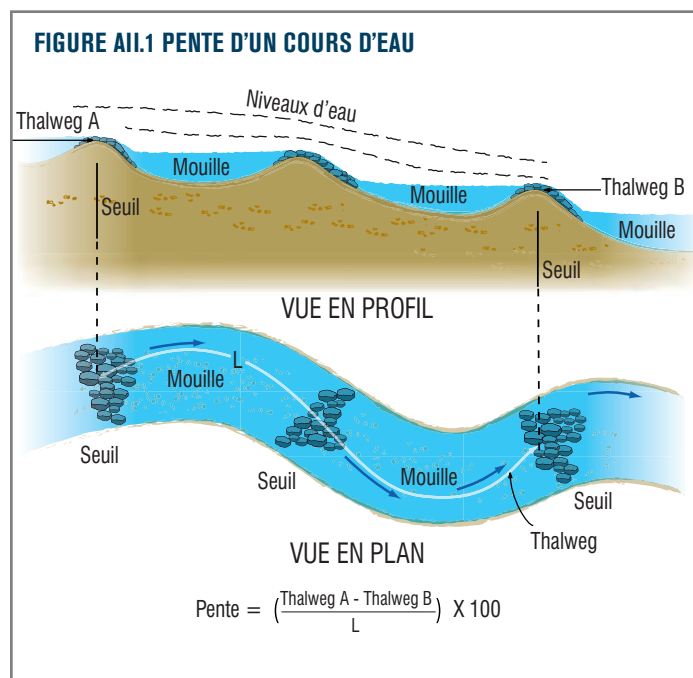
(ex. : nombre et localisation des blocs, présence de débris ligneux, végétation dense sur les berges) sur le tronçon de référence.

AII-III PROFIL EN LONG ET PENTES

Le **profil en long** du **thalweg** est une variable critique pour la conception des traversées de cours d'eau. Le profil en long est une représentation graphique avec, sur l'axe des X, la distance le long du thalweg (et non le long du centre ligne du cours d'eau) et, sur l'axe des Y, les élévations des points relevés du thalweg. La profondeur d'eau doit également être notée avec chaque point du thalweg relevé. Le profil en long devrait s'étendre sur toute la longueur du tronçon inventorié.

Les élévations devraient être mesurées à tous les changements visibles de la **pente** du cours d'eau ainsi qu'à intervalles réguliers. De plus, les points représentatifs des faciès d'écoulement, comme les seuils, les mouilles et les fosses devraient également être relevés. Les éléments particuliers (ex. : contrôles hydrauliques, ruptures de pentes, ponceau existant, **érosion régressive**) devraient aussi apparaître sur le profil longitudinal.

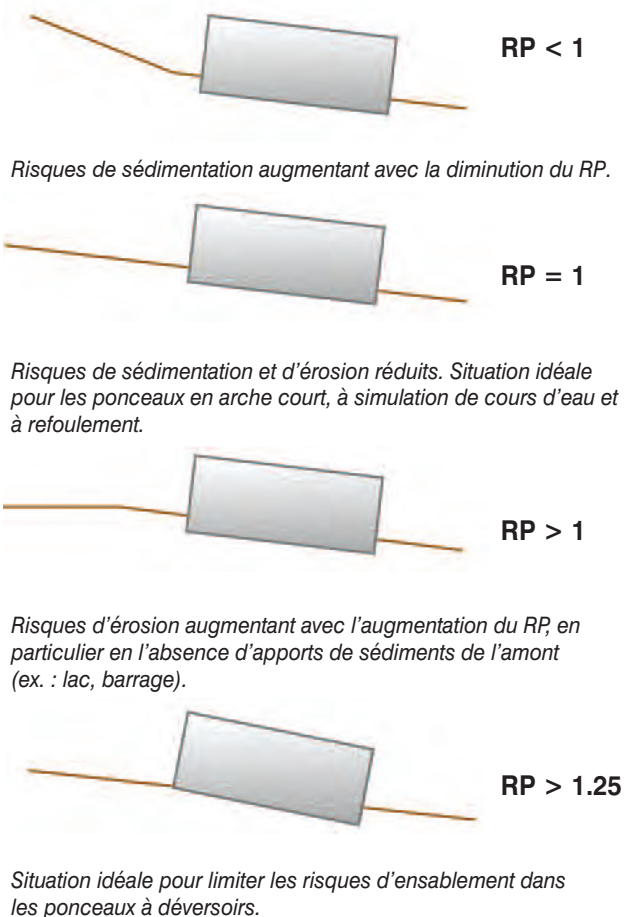
La pente d'un cours d'eau est le rapport de la dénivellation entre deux points relevés et de la longueur du thalweg entre ces deux points (voir figure AII.1). Les pentes se mesurent entre deux faciès de même type, idéalement entre deux seuils. Autrement, la valeur de pente reflète les variations locales associées à la structure du lit, par exemple, la pente est maximale entre un seuil et une mouille.



Le **ratio de pentes** (RP) se calcule au moyen de la pente du ponceau projeté et de la section située en amont du ponceau. La pente amont à utiliser dans le RP devrait couvrir au minimum deux à quatre unités géomorphologiques successives de même type (ex. : seuil-seuil). Bien que très variable, mentionnons que la longueur moyenne d'un tronçon de deux seuils successifs correspond à six fois la **largeur au débit plein bord** (LDPB) du cours d'eau.

Le RP est une mesure indirecte du rapport de la **capacité de transport** (Q_c) entre deux tronçons. La figure AII.2 résume brièvement l'effet de quelques types de rapports sur le transport des sédiments dans un ponceau. Le même raisonnement peut être appliqué avec les pentes de deux tronçons successifs d'un cours d'eau.

FIGURE AII.2 - DIFFÉRENTS CAS DE RATIOS DE PENTES



AII-IV SECTIONS TRANSVERSALES

Au moins huit sections transversales devraient être relevées sur le cours d'eau. L'approche recommandée est de choisir huit profils représentatifs de la variabilité de la géomorphologie du cours d'eau naturel. Notons qu'il est recommandé de parcourir l'ensemble des tronçons amont et aval avant de faire le choix des sections représentatives. Certaines recommandations générales s'appliquent au moment du choix de l'emplacement des sections transversales :

- Pour un nouveau ponceau, une ou deux sections devraient être situées directement sur le site d'implantation projeté de la structure. Pour tous les ponceaux à simulation de cours d'eau, au moins deux sections devraient être situées à l'intérieur du tronçon de référence. Les autres sections devraient se répartir entre l'amont et l'aval;
- Les sections devraient mettre en évidence la variabilité du cours d'eau. La meilleure façon d'atteindre l'objectif de représentativité est de choisir les sections en fonction de la séquence des faciès d'écoulement du cours d'eau. Par exemple, il pourrait être approprié de prévoir quatre sections en amont du ponceau projeté pour couvrir deux paires complètes de seuils-mouilles;

Dans les secteurs où les faciès d'écoulement sont mal définis et où la largeur présente une faible variabilité, il est possible de positionner les profils de façon à couvrir l'ensemble de la distance caractérisée;

- Les zones affectées par des ouvrages ou des modifications temporaires (ex. : ponceau existant, enrochement, barrage de castor) sont à éviter. Les seuils temporaires qui ne sont pas conditionnés par les processus géomorphologiques et qui sont aléatoires, comme des débris ligneux, sont également à éviter;
- Finalement, des sections transversales sont nécessaires pour les secteurs où des aménagements dans le cours d'eau, tel que des seuils, pourraient être mis en place. En effet, ces informations sont requises pour concevoir des aménagements pour lesquels les niveaux d'eau générés seront confinés à l'intérieur des rives et ainsi éviter que l'eau ne contourne et détruise les ouvrages.

A) Largeurs, profondeurs et géométrie

Le **débit plein bord** (DPB) réfère au débit qui conditionne le processus géomorphologique d'un cours d'eau. Il peut expliquer en grande partie la morphologie d'un cours d'eau car en considérant son énergie et sa fréquence, c'est le débit qui peut transporter le plus de matériaux solides. Le DPB est suffisamment puissant et fréquent pour développer la forme

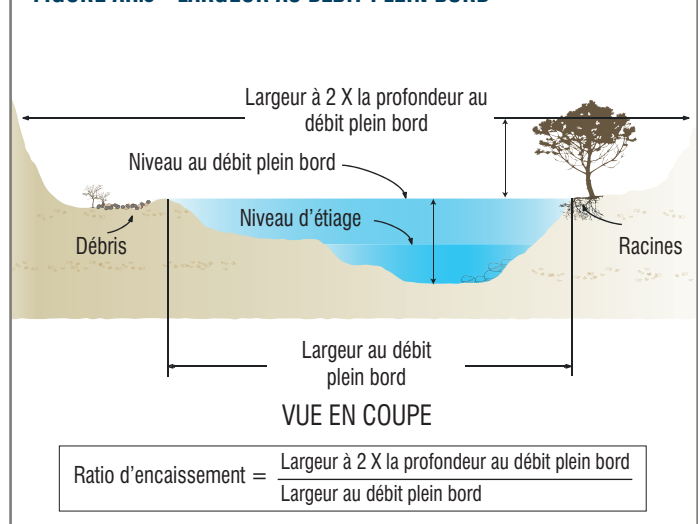
générale du lit du cours d'eau et pour maintenir les dimensions des sections. Habituellement, le DPB se produit au printemps mais peut survenir aussi à l'occasion de fortes pluies.

On détermine généralement la LDPB en se basant sur des indices physiques (voir figure AII.3), et en particulier :

- La limite inférieure de la plaine de débordement (ou d'inondation), soit une surface relativement plane. Le début de la plaine d'inondation est l'endroit à partir duquel le cours d'eau déborde ou n'est plus aussi confiné. On y remarquera souvent une cassure entre la pente de la berge et celle de la plaine d'inondation;
- Le haut des bancs de sable sur les rives internes de méandres;
- Les changements abrupts de pentes dans les talus;
- La présence de marques d'érosion active (ex. : talus verticaux, talus minés);
- Les racines dénudées des arbres. Il est à noter que les arbres vivants dont le tronc est courbé à leur base sont généralement situés à l'intérieur de la LDPB;
- Les changements dans la nature ou la granulométrie du substrat.

Il est recommandé de considérer le plus grand nombre d'indices physiques différents pour corroborer la valeur de la

FIGURE AII.3 - LARGEUR AU DÉBIT PLEIN BORD



LDPB. Par ailleurs, les indices ne doivent pas être confondus avec certaines caractéristiques d'étiage qui peuvent présenter des similarités avec celles qui sont réellement représentatives du DPB.

La validité de la LDPB mesurée sur le cours d'eau dépend grandement de la représentativité des sections retenues. Avant de prendre la mesure, il est donc important de valider la cohérence de la LDPB sur quelques sections à proximité, par exemple en vérifiant que des indicateurs (ex. : fanions) sont enlignés.

La LDPB peut aussi être artificielle et avoir été fixée de façon arbitraire lors de la linéarisation ou du dragage d'un cours d'eau. Dans ces situations, le nombre de mesures associées au DPB devrait être augmenté ou, dans le cas des cours d'eau assez larges, la LDPB pourrait être validée par des mesures prises sur des photographies aériennes historiques.

À chaque section transversale, les données suivantes devraient être recueillies :

- La LDPB et le niveau au DPB (au-dessus du **thalweg**);
- La largeur et la profondeur de l'eau du jour (au-dessus du **thalweg**);
- La géométrie de la section transversale du cours d'eau, incluant le chenal d'étiage, jusqu'à la LDPB.

Toutes les largeurs et profondeurs mesurées devraient être présentées, avec la justification du choix des valeurs retenues pour la conception.

B) Ligne naturelle des hautes eaux

La **ligne naturelle des hautes eaux** (LNHE) réfère à l'endroit où l'on passe d'une prédominance de plantes aquatiques à une prédominance de plantes terrestres ou, s'il n'y a pas de plantes aquatiques, à l'endroit où les plantes terrestres s'arrêtent en direction du plan d'eau. Il est recommandé de se référer au Guide d'interprétation, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (MDDELCC, 2015).

Un ponceau ne devrait pas être installé dans un milieu humide ou dans une large plaine de débordement. Une différence significative entre la largeur au DPB et la largeur de la LNHE pourrait être un indicateur de ces types de milieux.

C) Ratio d'encaissement

Le **ratio d'encaissement**, selon la définition morphométrique de Rosgen (1994), se définit comme le rapport entre la largeur d'une section transversale à l'élévation équivalente à deux fois la profondeur au niveau du DPB et la largeur au niveau du DBP (voir la figure AII.3). Ce ratio est un indicateur important de la largeur du cours d'eau à des débits de crues importantes. Bien qu'objective, cette mesure est difficile à prendre, ce qui peut causer des erreurs.

Dans le cadre de la conception de traversées de cours d'eau, le ratio d'encaissement sert en fait à anticiper l'étendue des écoulements dans la plaine inondable et à circonscrire les cas où le confinement des écoulements pose problème. Ces circonstances peuvent être identifiées de façon qualitative grâce à l'interprétation géomorphologique à partir des photographies aériennes, par exemple. De façon plus générale, les débordements substantiels surviennent en aval des bassins versants où le cours d'eau est dans une large plaine alluviale (voir Annexe I). Cette interprétation géomorphologique est plus commode que le ratio d'encaissement, quoique moins objective. Il existe plusieurs types de plaines alluviales et selon le faciès de surface, il est possible d'anticiper les principaux axes d'écoulement. Le cas échéant, ceci permet notamment d'optimiser la localisation des ponceaux sur la plaine.

Les largeurs des zones d'inondations de récurrence 20 ans et 100 ans sont également des indicateurs de la largeur du cours d'eau à des débits de crues importantes.

AII-V AUTRES INFORMATIONS REQUISES

Si un ponceau est en place, certaines informations devraient être relevées, que ce ponceau soit conservé ou non. Ces informations sont le type de structure, ses dimensions (largeur, hauteur, longueur), la **pente** du ponceau et les pentes en amont et en aval de celui-ci, les matériaux, la date d'installation, l'état général, la présence de bris de pente, le niveau d'enfouissement, une caractérisation sommaire du substrat à l'intérieur, la hauteur du remblai, le type d'extrémité, les signes de sédimentation ou d'affouillement en amont et en aval du ponceau, etc.

Lorsque la structure existante doit être modifiée pour permettre le libre passage du poisson, certaines caractéristiques du ponceau deviennent primordiales puisqu'elles serviront de fondement aux aménagements. Pour les modifications à l'intérieur du ponceau, les informations requises sont du même type que celles contenues dans une étude hydraulique de la structure. Mentionnons, à titre d'exemple, que pour l'installation de déversoirs dans un ponceau existant, les informations comme la capacité hydraulique, l'état du radier ainsi que les niveaux d'eaux en amont et en aval sont essentielles.

Pour tous les types d'approches, il importe également de recueillir certaines données relatives à l'hydrologie et à l'hydraulique du cours d'eau :

- Les conditions météorologiques à la date de l'inventaire;
- La pluviométrie des jours précédents et des jours d'inventaire;
- La superficie du bassin versant drainé par le ponceau en place et par le ponceau projeté;
- Les débits aux stations hydrométriques du secteur;
- Pour les ponceaux à déversoirs, la mesure du débit du jour;
- Pour les ponceaux existants, les caractéristiques de l'écoulement telles que la profondeur, la largeur et la vitesse.

Le potentiel d'apport de débris ligneux au site du ponceau projeté devrait également être évalué afin d'identifier les risques d'obstructions.

Enfin, des photographies illustrant les informations recueillies sont importantes. Le nombre de photos et leur qualité devraient permettre de bien visualiser l'ensemble des sections inventoriées.





ANNEXE III

LIENS UTILES

■ Pêches et Océans Canada

- *Loi sur les pêches*
<http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/F-14/index.html>
- *Loi sur les espèces en péril*
<http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/s-15.3/>
- Projets près de l'eau
<http://www.dfo-mpo.gc.ca/pnw-ppe/index-fra.html>
- Registre public des espèces en péril
<http://www.sararegistry.gc.ca/default.asp?lang=Fr&n=24F7211B-1>

Centre de données sur le patrimoine naturel du Québec

<http://www.cdpnq.gouv.qc.ca/>

Centre d'expertise hydrique du Québec

Débits d'étiage aux stations hydrométriques du Québec

<http://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/index.htm>

Transports Canada

Loi sur la protection de la navigation

<http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/lois/N-22/TexteComplet.html>

BIBLIOGRAPHIE

- Bain, M. B. and Stevenson, N. J. (editors). 1999. *Aquatic habitat assessment: common methods*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, USA. 224 p.
- Barnard, R.J., Johnson, J., Brooks, P., Bates, K.M., Heiner, B., Klavas, J.P., Ponder, D.C., Smith, P.D. and Powers, P.D. 2013. *Water Crossings Design Guidelines*. Washington Department of Fish and Wildlife. Olympia, Washington, US. 297 p.
- Bates, K. and Kirn, R. 2009. *Guidelines for the design of stream/road crossings for passage of aquatic organisms in Vermont*. Prepared by Kozmo Inc. with Vermont Department of Fish & Wildlife and Vermont Agency of Natural Resources, Waterbury, VT, US. 127 p.
- B.C. Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations, B.C. Ministry of Environment and Fisheries and Oceans Canada. 2012. *Fish-stream crossing guidebook*. Rev. ed. For. Prac. Invest. Br. Victoria, B.C. 71 p.
- Brierley, G.J. and Fryirs, K.A. 2005. *Geomorphology and river management: applications of the river styles framework*. Blackwell Publishing, Malden, MA, USA. 398 p.
- Buffin-Bélanger, T., Demers, S. et Olsen, T. 2015. *Diagnostic hydrogéomorphologique pour mieux considérer les dynamiques hydrosédimentaires aux droits des traverses de cours d'eau : guide méthodologique*. Laboratoire de géomorphologie et de dynamique fluviale, Université du Québec à Rimouski. Remis au ministère des Transports du Québec, mars 2015. 55 p.
- Buffington, J.M. and Montgomery, D.R. 1997. *A systematic analysis of eight decades of incipient motion studies, with special reference to gravel bedded rivers*. Water Resources Research. 33(8):1993-2029.
- Caissie, D. 2006. *River discharge and channel width relationships for New Brunswick rivers*. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2637: 26 p.
- Demers S., Olsen T. et Buffin-Bélanger T. 2014. *Développement d'une méthode hydrogéomorphologique pour mieux considérer les dynamiques hydrosédimentaires aux droits des traverses de cours d'eau du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie dans le contexte de changements climatiques et environnementaux*. Laboratoire de géomorphologie et de dynamique fluviale, Université du Québec à Rimouski. Remis au ministère des Transports du Québec, décembre 2014. 202 p.
- Fisheries and Oceans Canada. 2015. *Guidelines for the design of fish passage for culverts in Nova Scotia*. Fisheries Protection Program, Maritimes Region. 95 p.
- Forest Service Stream-Simulation Working Group (FSSSWG) (editors). 2008. *Stream Simulation: An Ecological Approach to Providing Passage for Aquatic Organisms at Road-Stream Crossings*. US. Department of Agriculture, Forest Service, National Technology and Development Program, San Dimas, CA. 617 p.
- Fuller, W. B. and Thompson, S. E. 1907. *The laws of proportioning concrete*. Journal of the Transportation Division, American Society of Civil Engineers. 59(1053): 67-143.
- Kilgore, R.T., Bergendahl, B.S. and Hotchkiss, R.H. 2010. *Culvert Design for Aquatic Organism Passage. Hydraulic Engineering Circular No 26*. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration. FHWA-HIF-11-008. 234 p.
- Kondolf, G.M. 1994. *Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. Landscape and Urban Planning*. Elsevier Science B.V., Amsterdam. 28 : 225-243.
- Larinier, M., Porcher, J.P., Travade, F. et Gosset, C. 2003. *Passes à poisson, expertise et conception des ouvrages de franchissement*. Conseil supérieur de la pêche, Paris. 336 p.
- Maine Department of Transportation. 2004. *Fish Passage Policy & Design Guide*. 2nd Edition. Maine Department of Transportation. 84 p.

Malavoi, J. R. et Bravard, J. P. 2010. *Éléments d'hydromorphologie fluviale*. Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA), France. 224 p.

Ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick. 2012. *Directives techniques de la modification des cours d'eau et des terres humides*. Direction de développement durable, planification et évaluation des impacts. 137 p.

Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). 2015. *Guide d'interprétation, Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*. Direction des politiques de l'eau. 131 p.

Ministère des Transports du Québec. 2014. *Manuel de conception des ponceaux*. Direction des structures. 501 p.

Minnesota Department of Transportation. 2013. *Culvert designs for aquatic organism passage: culvert design practices incorporating sediment transport*. Transportation research synthesis. Office of Policy Analysis, Research and Innovation. TRS 1302. 21 p.

Montgomery, D.R. and Buffington, J.M. 1997. *Channel-reach morphology in mountain drainage basins*. Geological Society of America Bulletin. 109(5): 596-611.

Newbury, R. and Gaboury, M. 1994. *Stream analysis and fish habitat design – A field manual*. Second printing. Newbury Hydraulics Ltd., copublished with The Manitoba Habitat Heritage Corporation and Manitoba Fisheries Branch, Gibsons, BC. 262 p.

Robison, E.G., Mirati, A. and Allen, M. 1999. *Oregon Road/Stream Crossing Restoration Guide*. Oregon Department of fish & Wildlife. 79 p.

Rosgen, D.L. 1994. *A classification of natural rivers*. Catena. Elsevier. 22: 169–199.

Savoie, R. and Haché, D. 2002. *Critères de conception pour passes migratoires à poisson à l'intérieur de ponceaux (nouvelles installations et rénovation d'installations existantes) dans les provinces maritimes, Canada*. Pêches et Océans Canada, Région du Golfe. 39 p.

Sear, D.A., Newson, M.D. and Brookes, A. 1995. *Sediment related river maintenance: The role of fluvial geomorphology*. Earth Surface Processes and Landforms. 20(7): 629-647.

