



MINISTÈRE DES TRANSPORTS



GUIDE MÉTHODOLOGIQUE POUR LA CONCEPTION ET L'AMÉNAGEMENT DE SIMULATIONS DE COURS D'EAU

Direction de l'Environnement

Novembre 2021

Cette publication a été réalisée par Direction générale de la gestion des projets routiers et de l'encadrement en exploitation et éditée par la Direction générale des communications du ministère des Transports et de la Mobilité durable.

Le contenu de cette publication se trouve sur le site Web du Ministère à l'adresse suivante :
www.transports.gouv.qc.ca.

Pour obtenir des renseignements, on peut :

- composer le 511 (au Québec) ou le 1 888 355-0511 (partout en Amérique du Nord)
- consulter le site Web du ministère des Transports et de la Mobilité durable au www.transports.gouv.qc.ca
- écrire à l'adresse suivante : **Ministère des Transports et de la Mobilité durable**
700, boulevard René-Lévesque Est, 28^e étage
Québec (Québec) G1R 5H1

© Gouvernement du Québec, Ministère des Transports du Québec, 2021

ISBN 978-2-550-98501-3 (PDF)

Dépôt légal – 2024

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

Tous droits réservés. Reproduction à des fins commerciales par quelque procédé que ce soit et traduction, même partielles, interdites sans l'autorisation écrite du ministère des Transports et de la Mobilité durable.

Mise en garde

Enjeu

Le *Guide méthodologique pour la conception et l'aménagement de simulations de cours d'eau* (ci-après le *Guide*) est un document de référence concernant la conception et l'aménagement de simulations de cours d'eau naturels permettant d'assurer le libre passage du poisson lors de la construction de ponts et de ponceaux sous la responsabilité du ministère des Transports et de la Mobilité durable (MTMD). Il permet de respecter les recommandations des *Lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec* du ministère de Pêches et Océans Canada (éd. 2016).

Le *Guide* a été élaboré en 2021 à partir d'une revue de documentation et des calculs de stabilité des mélanges granulométriques. Depuis, l'expérience acquise dans différents projets incite à des recommandations particulières ainsi qu'à une mise à jour de la méthodologie qui seront intégrées dans la prochaine version du *Guide*. Dans l'attente de la publication d'une nouvelle version du *Guide*, quelques recommandations sur l'utilisation de la présente version doivent être considérées.

Recommandations

1. Le *Guide* a été élaboré **spécialement pour la simulation de cours d'eau sous les ponts et à l'intérieur des ponceaux** ainsi que sur de courtes distances en amont et en aval de ces ouvrages. Il est recommandé de limiter son utilisation à cette fin et de ne pas l'utiliser dans les projets de reconstitution d'un cours d'eau dévié de façon permanente;
2. Il est recommandé de considérer une pente maximale de 2,5 % pour une simulation de cours d'eau dans un ponceau;
3. Les étapes préliminaires permettant de déterminer si un site est propice à la simulation de cours d'eau et de caractériser un tronçon de référence sont importantes pour le succès d'une simulation de cours d'eau. Il est recommandé de ne pas négliger cette section du *Guide* avant d'entreprendre la conception d'une simulation de cours d'eau;
4. L'aménagement en chantier doit faire l'objet d'une surveillance spécifique et assidue afin de s'assurer du respect de l'ensemble des prescriptions du *Guide* à ce sujet.

Les utilisateurs du *Guide* peuvent acheminer des commentaires ou communiquer des problèmes rencontrés en lien avec le contenu du *Guide* par l'intermédiaire de la boîte courriel de la Direction de l'environnement (DEnv@transportsgouv.qc.ca).

CONTRIBUTION

Direction de l'environnement

Guillaume Lapierre, biologiste, M. Sc.

Direction de l'hydraulique

Josée Émond, ing.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
2. CHAMP D'APPLICATION	3
3. CARACTÉRISATIONS PRÉLIMINAIRES	4
3.1 Étape 1 : Déterminer si le site est propice à la simulation de cours d'eau	4
3.1.1 Stabilité verticale et horizontale	4
3.1.2 Ratio des pentes	6
3.1.3 Ratio d'encaissement.....	6
3.1.4 Longueur du ponceau	7
3.2 Étape 2 : Caractériser un tronçon de référence	7
3.2.1 Style fluvial.....	8
3.2.2 Profil en long (pente du cours d'eau et thalweg)	9
3.2.3 Profil en large (LNHE et LDPB).....	11
3.2.4 Estimation de la granulométrie.....	11
4. RESPECT DES EXIGENCES DU MPO	14
5. MÉLANGES GRANULOMÉTRIQUES	16
6. CONCEPTION DE LA SIMULATION ET DU PONCEAU	29
7. STABILITÉ DES MÉLANGES GRANULOMÉTRIQUES	33
8. MÉTHODES D'AMÉNAGEMENT EN CHANTIER	36
8.1 Mise en place du mélange granulométrique	36
8.2 Mise en eau du ponceau	39
9. RÉFÉRENCES	45
Annexe A Exemples de plans de simulation de cours d'eau	46
Annexe B Exemple de devis – simulation de cours d'eau	49

1. INTRODUCTION

Le présent document traite de la méthodologie recommandée pour réaliser une simulation de cours d'eau dans le cadre des travaux du ministère des Transports (MTQ). Il détaille les caractérisations de l'habitat à réaliser ainsi que les techniques à considérer lors de la conception et l'aménagement des simulations de cours d'eau et il a pour but d'uniformiser les techniques employées au MTQ et d'augmenter, à terme, la performance des aménagements.

Le document est inspiré des techniques préconisées par le ministère des Pêches et des Océans du Canada (MPO) dans le document intitulé : *Lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec* (2016). Il est également inspiré de trois guides techniques américains traitant du sujet, soit :

- 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.
- BARNARD, R.J., JOHNSON, J., BROOKS, P., BATES, K.M., HEINER, B., KLAVAS, J.P., PONDER, D.C., SMITH, P.D. et POWERS, P.D. (2013). *Water Crossings Design Guidelines*, Washington Department of Fish and Wildlife, Olympia, Washington, US, 297 p.
- KILGORE, R.T., BERGENDAHL, B.S. ET 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.

La simulation de cours d'eau consiste dans la reconstitution du lit d'un cours d'eau en reproduisant les conditions observées dans le milieu naturel adjacent. La simulation de cours d'eau est un concept alliant l'ingénierie, la biologie et la géomorphologie.

La figure 1 présente un exemple de simulation de cours d'eau réalisée à l'intérieur d'un ponceau. La simulation de cours d'eau peut également s'effectuer lors de projets de dérivation permanente de cours d'eau.

Dans une simulation de cours d'eau, la pente, la largeur et la granulométrie du lit reconstitué sont semblables à celles du cours d'eau naturel. Les vitesses de courant et les profondeurs que l'on y observe le sont donc également. De cette façon, on s'assure que les conditions de passage des poissons et autres organismes aquatiques sont similaires entre la portion simulée et les portions naturelles du cours d'eau.

Dans une simulation de cours d'eau, le passage sous la route de plusieurs espèces animales (mammifères terrestres et semi-aquatiques, herpétofaune) est grandement facilité par l'aménagement de berges dans le ponceau (blocs disposés le long des parois). Dans ces cas, la simulation de cours d'eau peut donc être considérée comme un passage faunique multi-espèces (figure 2).



Figure 1 – Simulation de cours d'eau à l'intérieur d'un ponceau (MTO)



Source : Washington State Department of Transportation, 2011

Figure 2 – Simulation de cours d'eau utilisée comme passage faunique par des cerfs

2. CHAMP D'APPLICATION

Dans le contexte des travaux du MTQ, la simulation de cours d'eau peut s'appliquer dans diverses situations. En effet, elle peut être utilisée pour reconstituer un cours d'eau sous un pont ou à l'intérieur d'un ponceau. Les mélanges granulométriques proposés peuvent aussi être utilisés pour effectuer une dérivation permanente de cours d'eau. Enfin, les principes présentés dans ce document peuvent être utilisés lorsque des enrochements de berges doivent être étanchéifiés sous la ligne des hautes eaux (LHE), ce qui permet d'éviter qu'en période d'étiage, l'eau ne s'infilte dans les enrochements et laisse le lit asséché, nuisant ainsi au libre passage des poissons.

Les simulations de cours d'eau réalisées à l'intérieur de ponceaux (avec ou sans radier) devraient être conçues à des pentes de 3 % ou moins. En effet, le risque de perte d'intégrité physique de la simulation est plus élevé dans les secteurs à plus fortes pentes. Dans un tel contexte, il est habituellement suggéré de réaliser des ponceaux avec déversoirs. Les simulations peuvent être aménagées sur des cours d'eau de 3 à 12 m de largeur environ. Enfin, les simulations de cours d'eau ne sont pas applicables dans les tuyaux de tôle ondulée puisque l'inspection du radier est primordiale pour ce type de structure.

3. CARACTÉRISATIONS PRÉLIMINAIRES

Avant d'entreprendre la conception d'une simulation de cours d'eau, il faut dans un premier temps s'assurer que le site est adéquat et propice à cet aménagement, car certaines traversées de cours d'eau ne s'y prêtent pas. Si le site s'avère propice, la deuxième étape est de caractériser un tronçon de référence afin de reproduire les conditions observées dans la portion de cours d'eau simulée.

Les deux sections qui suivent détaillent les deux grandes étapes à franchir avant d'entreprendre la conception d'une simulation de cours d'eau.

3.1 Étape 1 : Déterminer si le site est propice à la simulation de cours d'eau

Les traversées de cours d'eau ne se prêtent pas toutes à l'aménagement d'une simulation de cours d'eau. Les caractéristiques physiques du cours d'eau doivent favoriser le maintien de l'intégrité physique de l'aménagement à long terme.

Les quatre éléments à vérifier au préalable sont :

- La stabilité verticale et horizontale du cours d'eau;
- Le ratio des pentes;
- Le ratio d'encaissement;
- La longueur du ponceau à installer par rapport à la largeur au débit plein bord (LDPB) du cours d'eau.

La vérification de ces quatre éléments doit être réalisée à l'intérieur des tronçons du cours d'eau situés en amont et en aval du site de la traversée. Les tronçons amont et aval devraient présenter une longueur équivalente de 20 à 30 fois la LDPB (MPO, 2016).

3.1.1 Stabilité verticale et horizontale

Le thalweg du cours d'eau doit être confiné dans un écoulement stable qui ne présente ni alluvionnement (sédimentation) ni érosion importante. De légers signes d'érosion sont acceptables en amont de la traversée s'il n'y a aucun risque de sédimentation dans le ponceau.

Il faut éviter d'aménager des simulations de cours d'eau si des signes d'érosion régressive (érosion qui remonte de l'aval vers l'amont du cours d'eau) sont présents à l'aval de la traversée. En effet, une érosion régressive qui atteindrait le ponceau pourrait compromettre la stabilité du mélange mis en place et causer son érosion.

Il faut également éviter d'aménager des simulations de cours d'eau en aval de zones de forte sédimentation. Les sédiments accumulés en amont des traversées de cours d'eau sont susceptibles d'être remis en suspension lors des crues et pourraient se déposer à nouveau dans le ponceau aménagé.

Les indicateurs du tableau 1 peuvent être utilisés pour déterminer la stabilité ou l'instabilité du ruisseau.

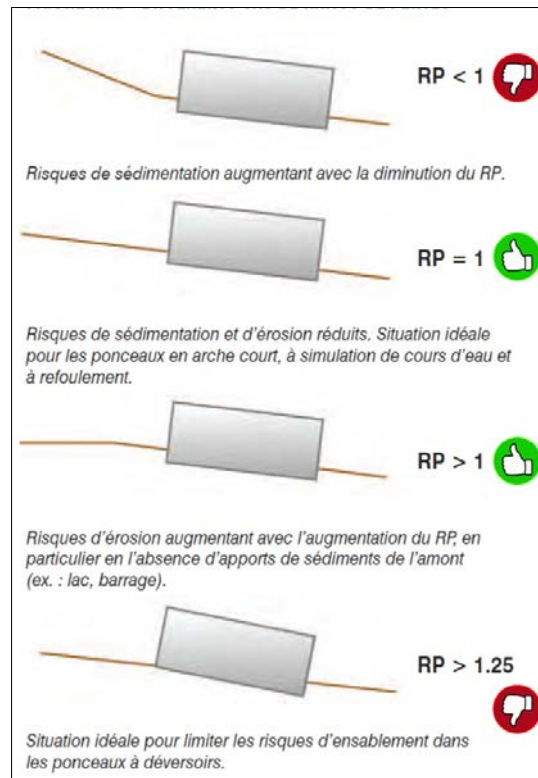
Tableau 1. Indicateurs pour identifier les cours d'eau stables ou activement en érosion ou sédimentation

Bilan sédimentaire	Indicateurs sur le terrain
Évidences d'érosion (non propice à la simulation de cours d'eau)	<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'autre du cours d'eau) en érosion par des décrochements
Évidences de sédimentation excessive (non propice à la simulation de cours d'eau)	<ul style="list-style-type: none"> Infrastructures ensevelies Bancs de gravier 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 de matériaux du lit Sols enfouis
Évidences de stabilité (propice à la simulation de cours d'eau)	<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

Source : MPO, 2016

3.1.2 Ratio des pentes

Le ratio des pentes (RP) se définit comme le rapport entre la pente du ponceau et celle du cours d'eau en amont. Le ratio des pentes doit se situer idéalement entre 1 et 1,25 pour la simulation de cours d'eau. Si le ratio des pentes est inférieur à 1, le ponceau risque de subir une sédimentation résultant de la diminution de l'énergie du cours d'eau. À l'inverse, si le ratio des pentes est supérieur à 1,25, l'augmentation d'énergie risque de porter atteinte à l'intégrité physique de l'aménagement. La figure 3 illustre les différents scénarios possibles.



Source : MPO, 2016

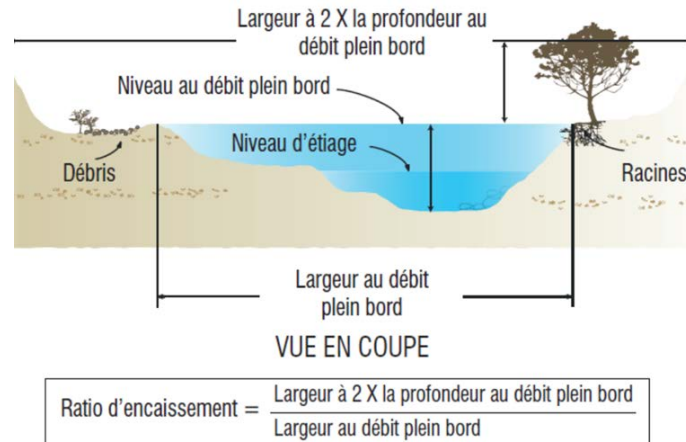
Figure 3 – Ratio des pentes

3.1.3 Ratio d'encassement

Le ratio d'encassement donne une appréciation de la pente des rives qui longent le cours d'eau. La formule qui permet de calculer le ratio d'encassement est présentée à la figure 4.

Des rives en pente douce induisent un ratio d'encassement élevé alors que des rives en pente forte donnent un ratio d'encassement plus faible.

En présence d'un ratio d'encaissement élevé, le ponceau induit une trop forte contraction des écoulements en temps de crue. Il faut donc éviter d'aménager des simulations de cours d'eau lorsque le ratio d'encaissement est égal ou supérieur à 3.



Source : MPO, 2016

Figure 4 – *Ratio d'encaissement*

3.1.4 Longueur du ponceau

Un ponceau trop long peut causer une linéarisation du cours d'eau et une augmentation de l'énergie de l'écoulement. Il faut donc éviter d'aménager des simulations de cours d'eau dans des ponceaux trop longs. La longueur du ponceau doit être mise en relation avec la largeur au débit plein bord (LDPB) selon la formule suivante :

$$\text{Longueur limite} : < 15 \times \text{LDPB}$$

Si le ponceau est plus long que 15 fois la LDPB, l'augmentation de l'énergie de l'eau dans le ponceau risque de compromettre le maintien de l'intégrité physique de l'aménagement.

3.2 Étape 2 : Caractériser un tronçon de référence

Une fois que le site de traversée de cours d'eau a été identifié comme propice à l'aménagement d'une simulation de cours d'eau, la seconde étape consiste à caractériser un tronçon de référence et à caractériser le cours d'eau en amont et en aval du ponceau. Le tronçon de référence peut se situer à l'intérieur des zones amont et aval du ponceau qui ont été caractérisées à l'étape 1. Pour les nouveaux ponceaux, le tronçon de référence correspond idéalement à l'emplacement où des aménagements sont projetés, si la pente est conservée.

Dans le cas d'une reconstruction de ponceau, il est important de sélectionner un tronçon de référence qui est comparable au site de traversée de cours d'eau. En effet, il faut caractériser un tronçon de cours d'eau, en amont ou en aval du ponceau, ayant la même pente et la même largeur que le site du ponceau. Le but de cet exercice est d'obtenir un portrait des conditions hydrodynamiques afin de les reproduire à l'intérieur du ponceau. Les conditions hydrodynamiques sont évaluées par l'estimation des pentes du cours d'eau et des rives ainsi que par la caractérisation de la granulométrie observable dans le tronçon de référence.

Les quatre éléments à analyser dans le tronçon de référence sont :

- Le style fluvial du cours d'eau;
- Le profil en long du cours d'eau;
- Le profil en large du cours d'eau;
- La granulométrie.

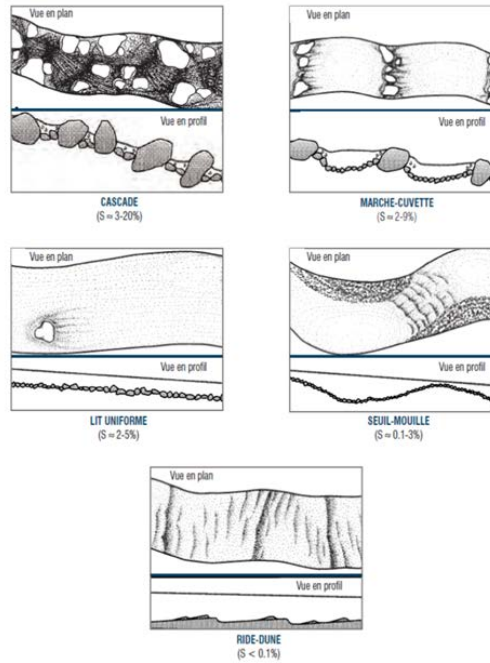
Les relevés topographiques à effectuer pour réaliser une simulation de cours d'eau sont plus complexes que ceux réalisés habituellement pour une conception traditionnelle de ponceau. Il faut porter une attention particulière à l'estimation des pentes au droit des travaux et dans les tronçons de référence. Un relevé topographique précis est crucial pour le succès des aménagements.

3.2.1 Style fluvial

Le tronçon de référence doit présenter le même style fluvial que le secteur du ponceau (même pente). La figure 5 présente les différents styles fluviaux susceptibles d'être rencontrés. Les styles fluviaux qui se prêtent bien à l'aménagement d'une simulation de cours d'eau sont les lits uniformes et le type seuil-mouille.

Dans le cas des marches-cuvettes et des rapides, les pentes fortes induisent une augmentation de l'énergie de l'eau qui risque de compromettre l'intégrité physique des simulations aménagées. Le style fluvial de type ride-dune ne se prête pas à la simulation de cours d'eau. Les ponceaux installés dans ce genre de cours d'eau se rempliront de sable avec le temps, et un nouvel équilibre sédimentologique sera créé naturellement dans le ponceau.

L'identification du style fluvial doit être accompagnée d'une représentation de la sinuosité du cours d'eau. Puisque celle-ci devra être reproduite à l'intérieur de la simulation de cours d'eau, il faut mesurer sur le terrain la longueur du cours d'eau caractérisé par un style fluvial. Par exemple, on devra mesurer la longueur du ruisseau où le chenal passe de gauche à droite et la longueur du cours d'eau qui comprend un seuil et une fosse (mouille).

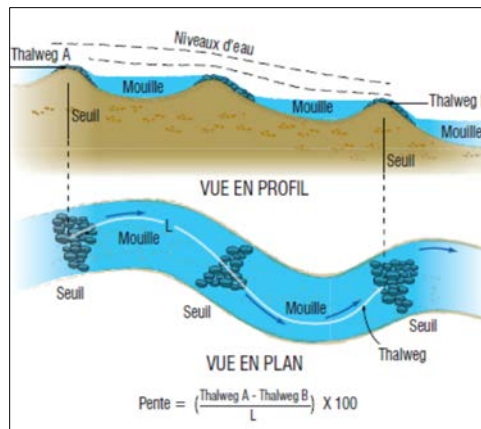


Source : MPO, 2016

Figure 5 – Styles fluviaux des cours d'eau

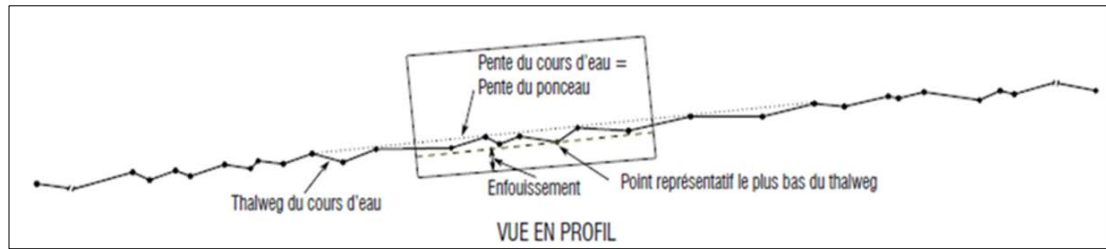
3.2.2 Profil en long (pente du cours d'eau et thalweg)

Dans le but de représenter le plus fidèlement possible le cours d'eau sur des plans, il faut prévoir un relevé topographique spécifique à la conception d'une simulation de cours d'eau. Les relevés topographiques devront couvrir non seulement la pente du cours d'eau (dans le secteur du ponceau et dans le tronçon de référence), mais aussi le point bas des fosses (thalweg) rencontrées dans ce cours d'eau (figures 6 et 7). Le relevé de la pente du cours d'eau est une variable critique pour une bonne conception de ponceau à simulation de cours d'eau.



Source : MPO, 2016

Figure 6 – Mesure de la pente d'un cours d'eau



Source : MPO, 2016

Figure 7 – Comparaison entre la pente du cours d'eau et le point bas des fosses (thalweg)

Les tronçons à caractériser (en amont et en aval du ponceau) devraient être suffisamment longs pour inclure toutes les informations nécessaires à la conception et pour couvrir les éléments permettant d'anticiper les ajustements géomorphologiques liés à la présence des aménagements projetés. Le tronçon à caractériser 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, qui demeurera naturelle après les travaux. Selon les prescriptions du MPO (2016), une longueur minimale de 20 à 30 fois la largeur au débit plein bord (LDPB) est généralement suffisante en amont et en aval de la traversée. Si des ouvrages sont déjà en place, la longueur du tronçon à caractériser 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 caractériser devrait inclure un tronçon de référence. Pour les nouveaux ponceaux, le tronçon de référence correspond idéalement au cours d'eau à l'emplacement où des aménagements sont projetés, si la pente est conservée.

Pour l'estimation des pentes, 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 pente, ponceau existant, érosion régressive) devraient aussi apparaître sur le profil longitudinal.

Lorsqu'on mesure la pente d'un cours d'eau selon la formule présentée à la figure 6, la longueur entre les deux points d'élévation est la longueur du thalweg et non pas la longueur directe entre les deux points d'élévation.

En relevant le point bas des fosses, on obtient l'élévation nécessaire pour calculer l'élévation du ponceau et, du même coup, son enfouissement. Ce dernier est variable selon la taille des particules utilisées dans le mélange granulométrique (enfouissement $\geq 1,5 \times D100$). L'enfouissement devrait représenter au minimum 20 % de l'ouverture d'un ponceau rectangulaire et au minimum 30 % du diamètre d'un ponceau circulaire. Ainsi, le ponceau doit être enfoui sous le point bas des fosses présentes en amont et en aval (figure 7), ce qui permet d'éviter que le radier du ponceau soit mis à découvert par les changements géomorphologiques du cours d'eau. Dans la dynamique sédimentaire des cours d'eau, il arrive parfois que les fosses remontent vers l'amont avec le temps (érosion régressive) et que de nouvelles zones de sédimentation

apparaissent en aval de celles-ci. Il faut donc enfouir le ponceau suffisamment pour permettre au ruisseau de modifier sa configuration librement sans que le radier du ponceau ne soit découvert.

3.2.3 Profil en large (LNHE et LDPB)

La caractérisation du cours d'eau doit comprendre la réalisation de profils d'élévation réalisés sur des transects positionnés de façon perpendiculaire à l'écoulement de l'eau. Ces profils devraient permettre, entre autres, d'illustrer et de mesurer la largeur du cours d'eau au débit plein bord (LDPB) et la largeur du cours d'eau à la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE).

Au moins huit sections transversales devraient être relevées sur le cours d'eau. L'approche recommandée est de choisir huit emplacements représentatifs de la variabilité de la géomorphologie du cours d'eau naturel. 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 de faire ce choix :

- 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 se répartissent 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 entièrement deux paires de seuils-mouilles;
- Dans les secteurs où les faciès d'écoulement sont mal définis et où la largeur varie peu, il est possible de positionner les profils de façon à couvrir l'ensemble de la distance caractérisée;
- Les zones comportant 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 dans les secteurs où des aménagements dans le cours d'eau, tels que des seuils, pourraient être mis en place.

3.2.4 Estimation de la granulométrie

Dans le tronçon de référence, il est important de bien caractériser le substrat en place afin de choisir le bon mélange granulométrique à utiliser pour la simulation de cours d'eau. Ce mélange devra être légèrement plus grossier que celui présent dans le tronçon de référence afin de s'assurer qu'il résistera aux crues du cours d'eau.

Différentes techniques d'analyse granulométrique peuvent être utilisées pour caractériser le substrat. Le décompte granulométrique par la méthode de Wolman (Harrelson et autres, 1994) donne généralement de meilleurs résultats que l'estimation des pourcentages de recouvrement des différentes classes granulométriques. Cette dernière technique est plus subjective et les résultats peuvent varier d'un observateur à l'autre.

La méthode de Wolman consiste à mesurer les particules rencontrées tous les mètres le long de transects qui parcourent le tronçon de référence en zigzag (figure 8). Le transect doit être positionné de façon à représenter les différents styles fluviaux (seuils et mouilles). Lorsque les résultats des mesures sont compilés, il devient possible de déterminer le pourcentage relatif des différentes classes granulométriques dans le substrat du cours d'eau.



Source : Harrelson et autres, 1994

Figure 8 – Illustration de la méthode de Wolman (la ligne rouge représente le transect en zigzag)

La caractérisation granulométrique doit également comprendre l'estimation du D100 (diamètre de la plus grosse particule trouvée dans le cours d'eau). Pour ce faire, il faut mesurer les 25 particules les plus grosses observées dans le tronçon de référence (à l'exception des blocs glaciaires). On obtient alors une approximation du diamètre des plus grosses particules granulaires qui forment le mélange en place. Ce paramètre sera aussi utilisé pour choisir le mélange granulométrique à mettre en place dans la simulation de cours d'eau.

La caractérisation du substrat devrait aussi comprendre une analyse qualitative de la sous-couche (figure 9). En effet, les matériaux présents à la surface du substrat (pavage) sont très souvent de diamètre supérieur à ceux qui se trouvent sous la surface du substrat (sous-couche). L'analyse pourrait se limiter à une évaluation de la proportion de particules plus fines (sables et gravier) dans le mélange présent en sous-couche.



Source : FSSSWG, 2008

Figure 9 – Pavage d'un cours d'eau et sous-couche présentant une granulométrie plus fine

Enfin, le tableau 2 présente un sommaire des informations à recueillir dans le tronçon de référence et dans les sections en amont et en aval du ponceau. Rappelons que le tronçon de référence peut se situer à l'intérieur ou à l'extérieur des sections de caractérisation immédiatement en amont et en aval du ponceau.

Tableau 2. Sommaire des informations à recueillir dans les sections amont et aval du ponceau et dans le tronçon de référence

Paramètre à consigner	Sections de caractérisation amont et aval du ponceau (étape 1)	Tronçon de référence (étape 2)
Ratio des pentes*	X	
Ratio d'encaissement	X	
Profil en long	X	X
Profil en large	X	X
Stabilité des berges	X	X
Granulométrie		X
Style fluvial et description de la sinuosité		X

*L'estimation de la pente doit se faire également au site d'implantation du ponceau.

4. RESPECT DES EXIGENCES DU MPO

La conception de la simulation de cours d'eau doit respecter les exigences de Pêches et Océans Canada énoncées dans ses lignes directrices. Les principales exigences sont énoncées au tableau 3.

Plusieurs exigences sont liées à la stabilité du mélange ainsi qu'à son étanchéité. Afin que le mélange granulométrique résiste bien aux crues, il doit être le plus compact possible. Pour ce faire, le mélange doit respecter la courbe granulométrique présentée à la figure 10. La courbe représentée se situe à l'intérieur de l'enveloppe de Fuller-Thompson. L'équation de Fuller-Thompson est la suivante :

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

- 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.

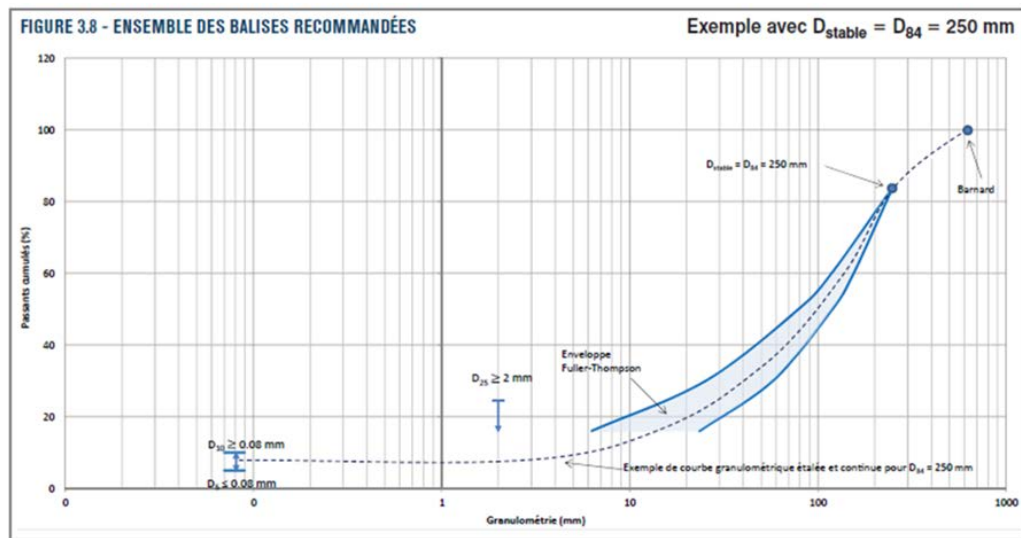
Le mélange doit également contenir au maximum 25 % de particules plus petites que 2 mm. En effet, si la proportion de sable est trop importante dans le mélange, les particules plus grosses (gravier, cailloux, galets) risquent de glisser les unes sur les autres, ce qui réduit la stabilité du substrat.

Le mélange granulométrique à mettre en place doit contenir entre 5 et 10 % de particules fines de diamètre inférieur à 80 µm. Les particules fines assurent l'étanchéité du mélange, ce qui permet de prévenir l'infiltration des eaux à travers le substrat. En période d'étiage, on doit éviter que l'eau ne s'infiltré dans le mélange, ce qui pourrait nuire au libre passage des poissons.

Tableau 3. Exigences du MPO concernant la conception d'une simulation de cours d'eau

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 • $D_{100} \approx 2.5 D_{34} \approx 6.25 D_{50}$ • Max. 25 % de particules < 2 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 ≤ 80 μm ☑ Chenal d'étiage représentatif du cours d'eau naturel ☑ Épaisseur du lit simulé : <ul style="list-style-type: none"> • ≥ 20 % ou 30 % de la largeur des ponceaux rectangulaire et circulaire respectivement • ≥ 1.5 × 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 %

Source : MPO, 2016



Source : MPO, 2016

Figure 10 – Illustration des balises recommandées par le MPO pour les mélanges granulométriques

5. MÉLANGES GRANULOMÉTRIQUES

Le présent guide méthodologique détaille 11 mélanges granulométriques qui peuvent être utilisés pour des simulations de cours d'eau sous différentes conditions hydrauliques. L'utilisation de mélanges préétablis permet de faciliter la conception des simulations, d'uniformiser les techniques utilisées par les concepteurs et d'augmenter, à terme, la performance des aménagements.

Les mélanges proposés sont essentiellement constitués d'un matériau déjà normé au MTQ, soit le MG 80 (tableau 4). Ce matériau présente une granulométrie continue et étalée, qui est tout à fait indiquée pour obtenir un mélange granulométrique compact et étanche. Lorsque les conditions hydrauliques attendues dans le ponceau sont plus rigoureuses, des enrochements de tailles diverses sont ajoutés au MG 80. Enfin, pour s'assurer de l'étanchéité des mélanges, on doit ajouter de la poussière de pierre (0-1,5 mm) aux mélanges. Cette poussière de pierre peut être obtenue auprès des carrières équipées de concasseurs.

En somme, les mélanges granulométriques proposés sont constitués de MG 80, de poussière de pierre et d'enrochement de tailles diverses (tableau 5). Les figures 11 à 18 présentent les matériaux de base ainsi que leur mélange en chantier. Pour la composition de chaque mélange, il faut consulter les figures 19 à 29 et le tableau 6.

Tableau 4. Matériaux granulaires utilisés au MTQ (norme BNQ 2560-114)

Matériau granulaire	Tamis, en mm									Tamis, en μm	
	112	80	56	40	31,5	20	14	5	1,25	315	80
	Passant, en %										
MG 20				s. o.	100	90-100	68-93	35-60	15-38	5-17	2,0-7,0
MG 20b				s. o.	100	90-100	68-93	35-60	15-38	5-17	5,0-11,0
MG 31,5			100	s. o.	90-100	s. o.	60-90	30-60	15-40	5-20	2,0-8,0
MG 56		100	82-100	s. o.	55-85	s. o.	s. o.	25-50	11-30	4-18	2,0-7,0
MG 80	100	80-100	60-85	s. o.	35-60	s. o.	23-45	12-29	5-17	1-15	0-10,0
MG 112	100	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	s. o.	12-100	s. o.	s. o.	0-10,0

Source : Collection Norme – Ouvrages routiers du MTQ, *Tome III – Ouvrages d'art*, publications du Québec

Tableau 5. Matériaux constituant les 11 mélanges granulométriques utilisés pour la conception de simulations de cours d'eau

Matériau	Dimensions	Détails
MG 80	Voir tableau 4	Voir tableau 4
Poussière de pierre	0-1,5 mm	Les proportions approximatives sont 30 % de < 80 µm, 35 % de 80 à 315 µm et 35 % de 315 µm à 1,5 mm
Enrochements	100-200 mm	D50 = 150 mm
	200-300 mm	D50 = 250 mm
	300-400 mm	D50 = 350 mm
	300-500 mm	D50 = 400 mm
	400-600 mm	D50 = 500 mm

Le tableau 6 présente, pour chaque mélange, les proportions **en poids** de chaque matériau. **Il faut donc peser les matériaux** qui constituent les mélanges et non pas utiliser leur volume. Les divers matériaux peuvent être pesés en carrière à l'aide d'une pesée standard ou en chantier à l'aide de pesées installées sur la machinerie lourde (ex. : chargeuse). Si le concepteur veut utiliser des volumes plutôt que le poids des matériaux pour effectuer les mélanges, il devra déterminer la masse volumique de chaque matériau constituant les mélanges, ce qui représente une charge de travail supplémentaire. La masse volumique varie en fonction du type de pierre et de la taille des matériaux utilisés. Les empierrements avec des interstices (ex. : 300-500 mm) présentent une masse volumique généralement plus faible que les matériaux sans interstices (MG 80, poussière de pierre). La masse volumique des mélanges A à K devrait varier entre 1 800 et 2 000 kg/m³.

Tableau 6. Proportions (%) du poids des différents matériaux composant les 11 mélanges granulométriques

No mélange	Pourcentage du poids des matériaux dans le mélange						
	0-1,5 mm	MG 80	100-200 mm	200-300 mm	300-400 mm	300-500 mm	400-600 mm
A	10	71	19	0	0	0	0
B	12	50	38	0	0	0	0
C	12	40	28	20	0	0	0
D	13	33	27	13	13	0	0
E	14	25	25	17	0	19	0
F	16	23	23	13	10	0	16
G	15	18	18	15	12	0	21
H	13	16	16	11	44	0	0
I	13	13	13	10	0	50	0
J	12	12	12	8	13	0	43
K	14	10	10	7	9	0	50



Figure 11 – *Poussière de pierre 0-1,5 mm vue de près (MTQ)*



Figure 12 – *Amoncellement de poussière de pierre 0-1,5 mm (MTQ)*



Figure 13 – *Matériau MG 80 vu de près (MTQ)*



Figure 14 – *Amoncellement de matériau MG 80 (MTQ)*



Figure 15 – *Empierrement de taille 200-300 mm (MTQ)*



Figure 16 – *Empilement de divers matériaux granulaires formant le mélange C (MTQ)*



Figure 17 – *Mélange des divers matériaux constituant le mélange granulométrique C (MTQ)*



Figure 18 – *Apparence du mélange granulométrique C bien mélangé (MTQ)*

Les mélanges A à G ont été élaborés de manière à représenter la distribution granulométrique naturelle théorique et à respecter au maximum les exigences du MPO. Par la suite, des analyses de stabilité par modélisation hydraulique ont été réalisées sur ces mélanges par la Direction de l'hydraulique du MTQ. Ces analyses ont montré une bonne stabilité de ces mélanges pour diverses conditions hydrauliques. Cependant, pour les conditions hydrauliques plus rigoureuses, ces mélanges ne sont pas adéquats.

C'est dans cette optique que les mélanges H à K ont été élaborés. Ces mélanges présentent une proportion plus forte de matériaux grossiers et respectent de manière globale les exigences du MPO. Les analyses de stabilité ont montré qu'ils peuvent résister aux conditions hydrauliques plus rigoureuses.

Les caractéristiques physiques des mélanges granulométriques ainsi que certaines des exigences du MPO à respecter sont présentées au tableau 7.

Tableau 7. Caractéristiques physiques des mélanges granulométriques

Mélange	D50 (mm)	D100 (mm)	% fines < 80 µm	% < 2 mm
A	40	200	3 - 10	14 - 24
B	60	200	3 - 9	15 - 21
C	100	300	4 - 8	15 - 20
D	120	400	4 - 7	15 - 20
E	140	500	4 - 7	16 - 19
F	150	600	5 - 7	18 - 21
G	200	600	5 - 6	16 - 18
H	250	400	4 - 6	14 - 16
I	300	500	4 - 5	14 - 16
J	350	600	4 - 5	13 - 14
K	400	600	4 - 5	15 - 16

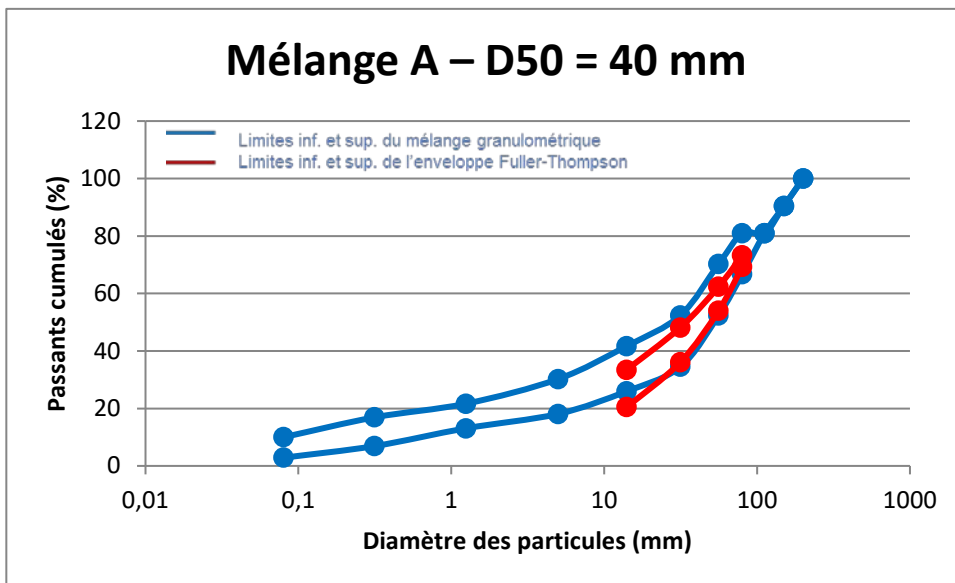


Figure 19 – Courbe granulométrique du mélange A

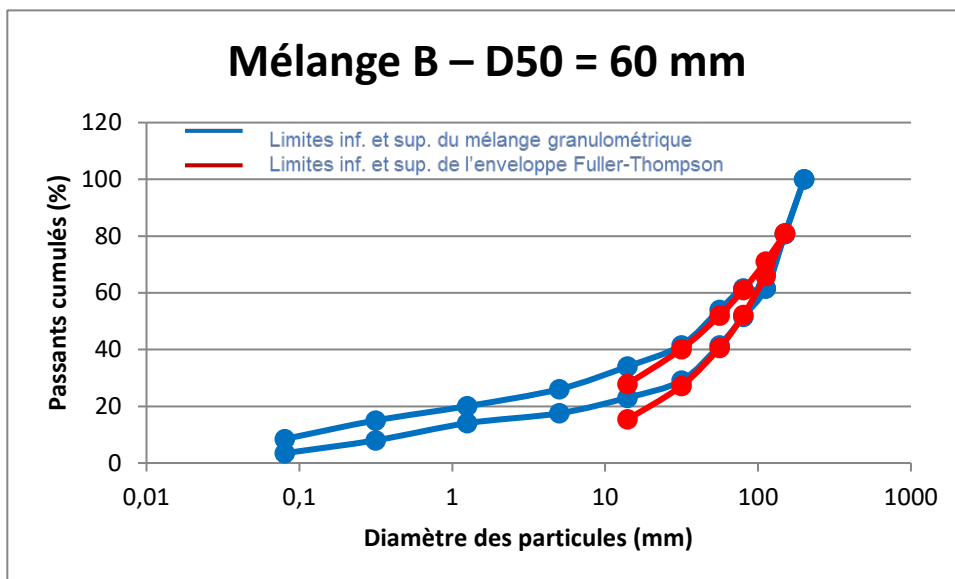


Figure 20 – Courbe granulométrique du mélange B

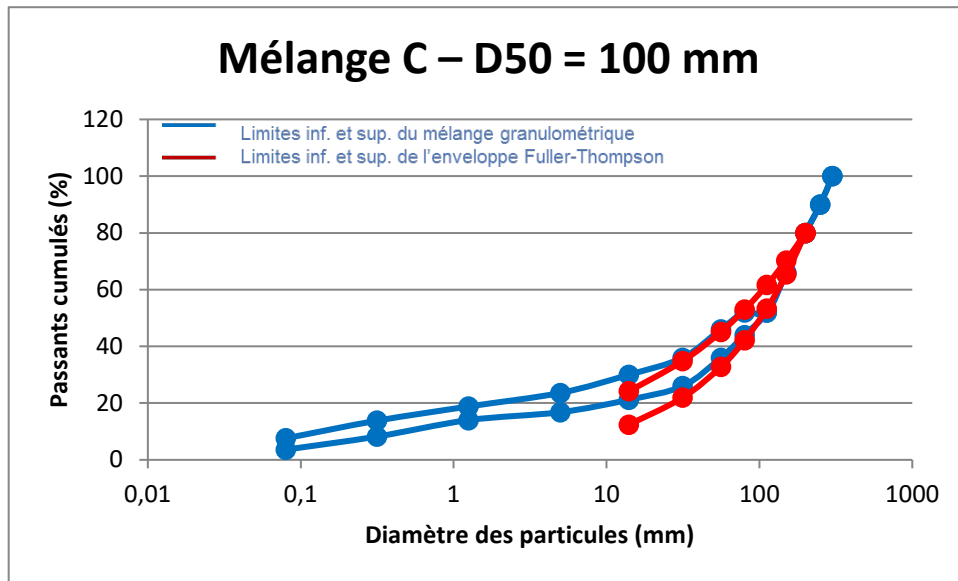


Figure 21 – Courbe granulométrique du mélange C

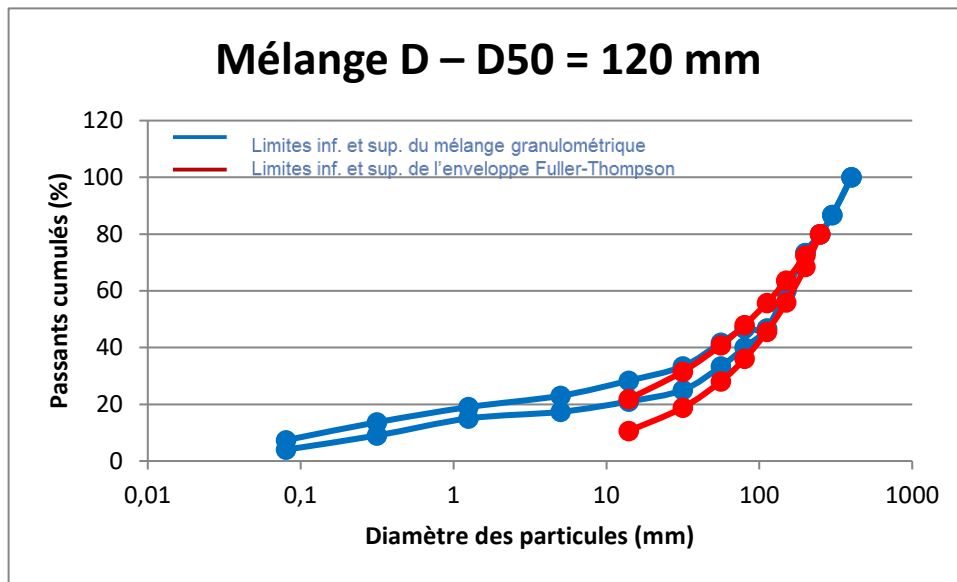


Figure 22 – Courbe granulométrique du mélange D

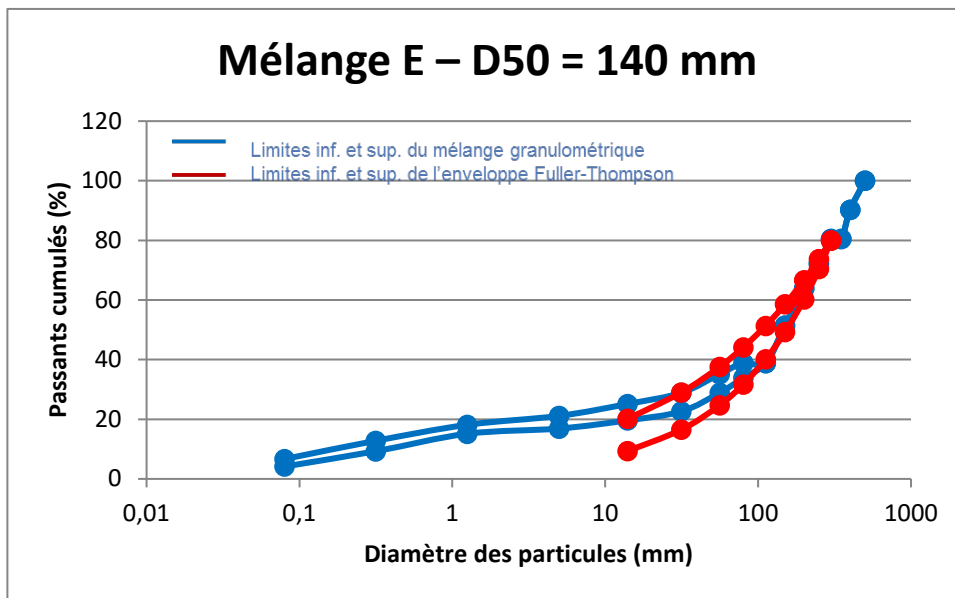


Figure 23 – Courbe granulométrique du mélange E

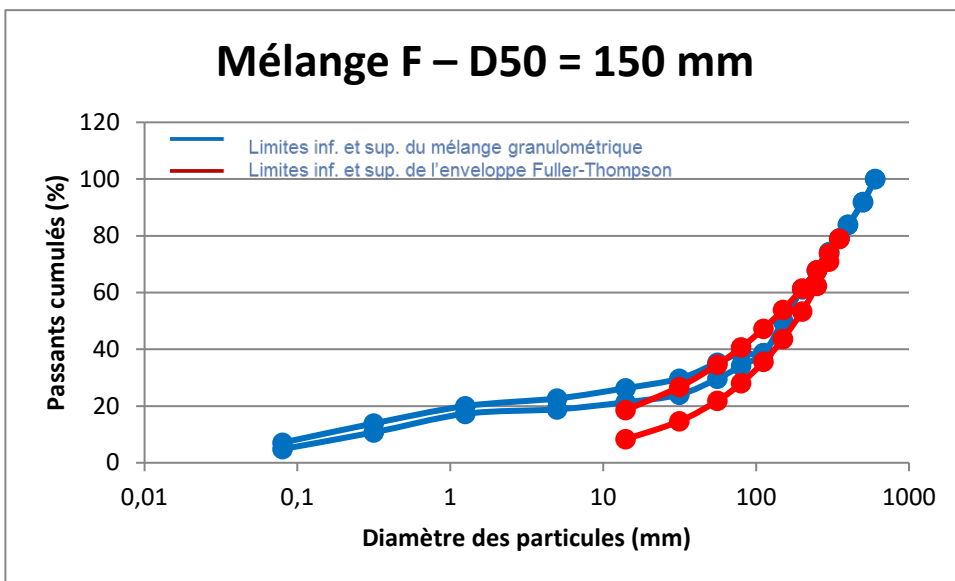


Figure 24 – Courbe granulométrique du mélange F

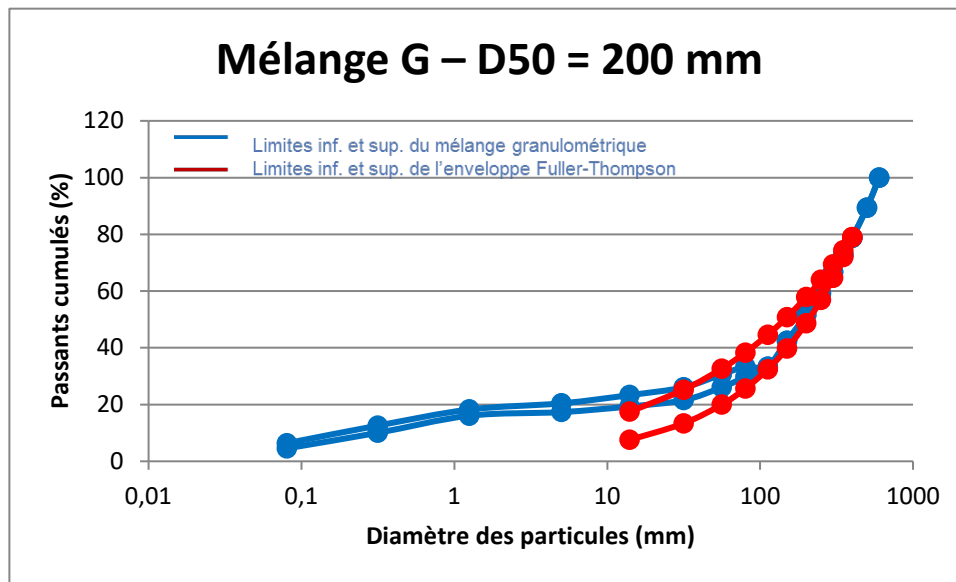


Figure 25 – Courbe granulométrique du mélange G

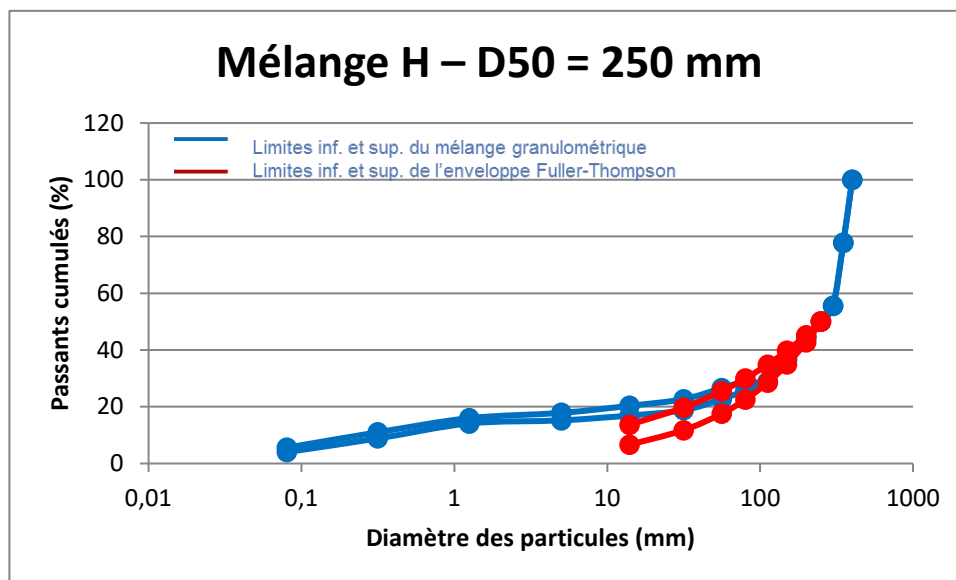


Figure 26 – Courbe granulométrique du mélange H

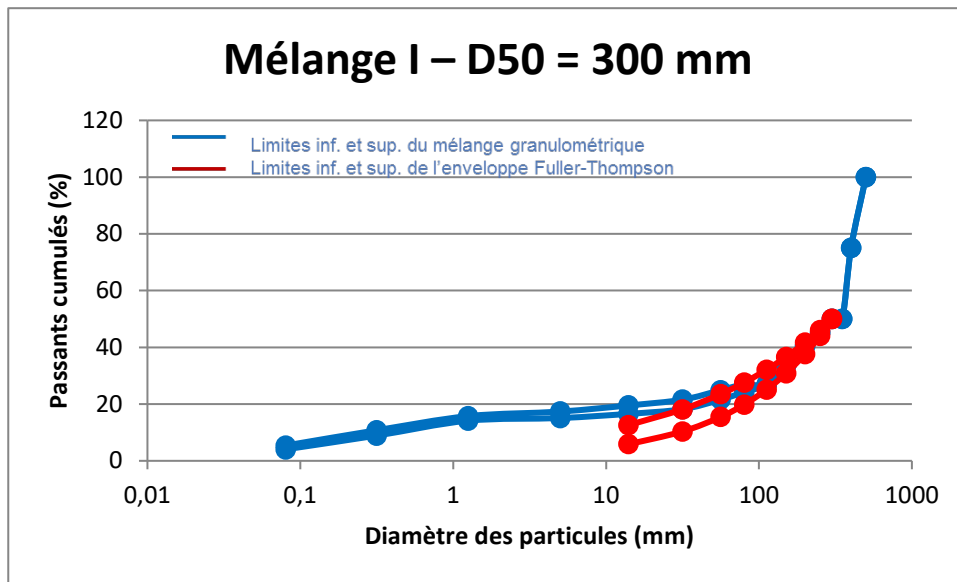


Figure 27 – Courbe granulométrique du mélange I

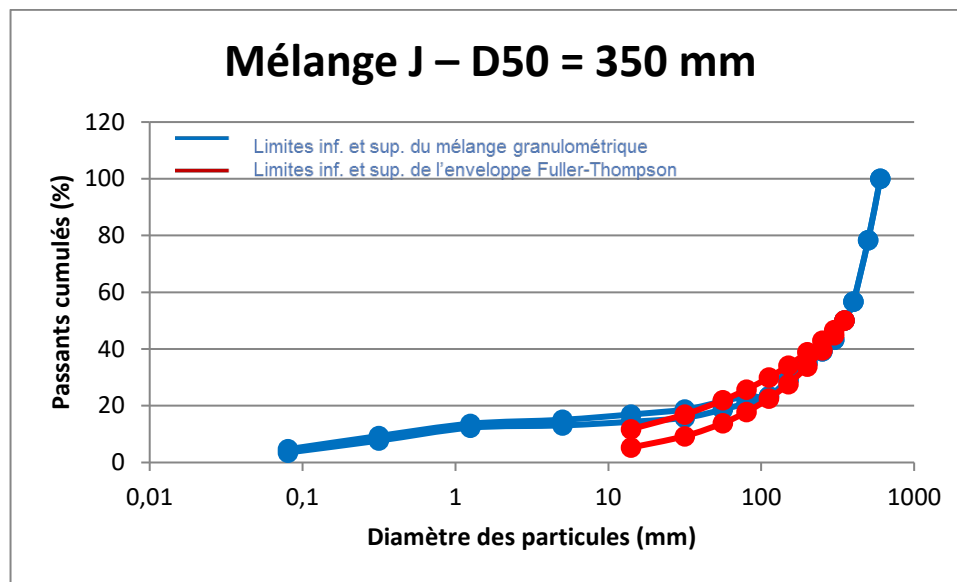


Figure 28 – Courbe granulométrique du mélange J

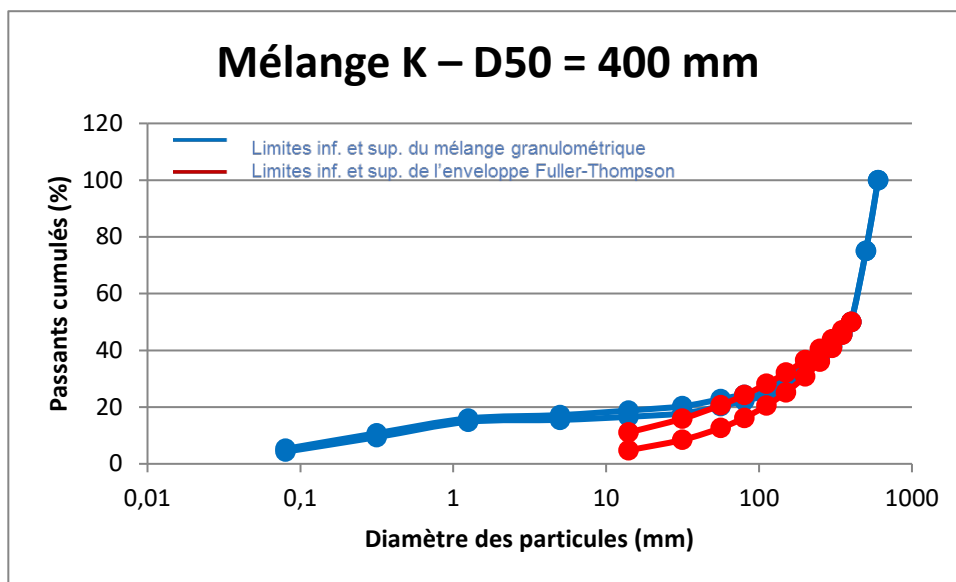


Figure 29 – Courbe granulométrique du mélange K

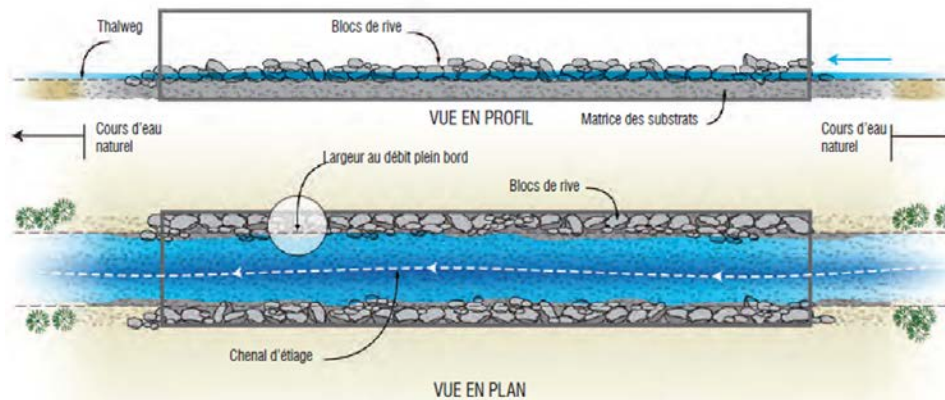
6. CONCEPTION DE LA SIMULATION ET DU PONCEAU

La simulation de cours d'eau consiste à reproduire dans le ponceau les conditions hydrodynamiques observées dans le tronçon de référence. Pour ce faire, la conception de la simulation doit comprendre les éléments suivants :

- Reproduction du style fluvial à l'intérieur du ponceau;
- Reproduction de la longueur et de la sinuosité du segment fluvial;
- Détermination de la longueur et de la largeur du ponceau;
- Positionnement en plan et en profil du ponceau en lien avec les tronçons de caractérisation amont et aval;
- Disposition des blocs de rive et des abris de courant;
- Détermination de la pente du ponceau (égale à celle du cours d'eau);
- Détermination de l'enfouissement (épaisseur au thalweg du mélange granulométrique);
- Détermination de la granulométrie à mettre en place.

Le ponceau à l'intérieur duquel la simulation de cours d'eau sera aménagée doit être plus large que la LDPB du cours d'eau. En effet, la simulation de cours d'eau doit comprendre l'aménagement de rives à l'intérieur du ponceau (figure 30). Ces rives doivent être assez larges pour y placer des blocs rocheux de diamètre correspondant au D100 du mélange granulométrique. Le D100 représente les plus grosses particules faisant partie du mélange. Par exemple, si le D100 du mélange est de 500 mm, le ponceau devra excéder de 1 m à la LDPB (blocs de 500 mm de chaque côté). Il importe de noter que les blocs servant à aménager les rives de la simulation ne doivent pas être pris dans le mélange. Ces blocs rocheux doivent être fournis en surplus de ceux présents dans le mélange à mettre en place.

Dans le présent document, on distingue les blocs de rive (blocs rocheux placés près des parois du ponceau) des abris de courant (blocs de pierre placés en quinconce sur la surface aménagée pour faciliter le passage des poissons). Les blocs de rive doivent être étalés de façon continue le long des parois (les blocs se touchent) afin de permettre le passage de la petite faune. Dans le cas des abris de courant, il convient de placer un bloc de pierre par superficie de 20 m² (ex. : 4 abris de courant pour un ponceau de 4 m de large par 20 m de long). La taille des abris de courant peut dépasser légèrement le D100 des mélanges granulométriques.



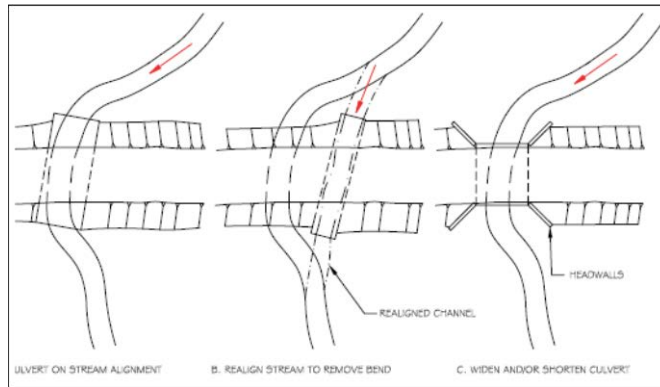
Source : MPO, 2016

Figure 30 – Vues en plan et en profil d'un ponceau à simulation de cours d'eau

Lorsque débute la conception d'un ponceau à simulation de cours d'eau, il faut s'assurer de le positionner correctement sur l'axe du cours d'eau. Pour un nouveau ponceau à installer, il est préférable de choisir une section linéaire du cours d'eau pour aménager la traversée. Dans le cas où la traversée de cours d'eau se situe dans une courbe et qu'il est impossible de la repositionner, trois options s'offrent au concepteur, soit : (1) adapter la simulation à la courbure naturelle du cours d'eau; (2) réaligner le cours d'eau; ou (3) raccourcir et/ou élargir le ponceau. La figure 31 illustre les trois options possibles. La solution à retenir varie selon les situations. Un mélange des options est également possible. Le concepteur doit évaluer les risques d'érosion et de sédimentation afin de choisir le bon ajustement.

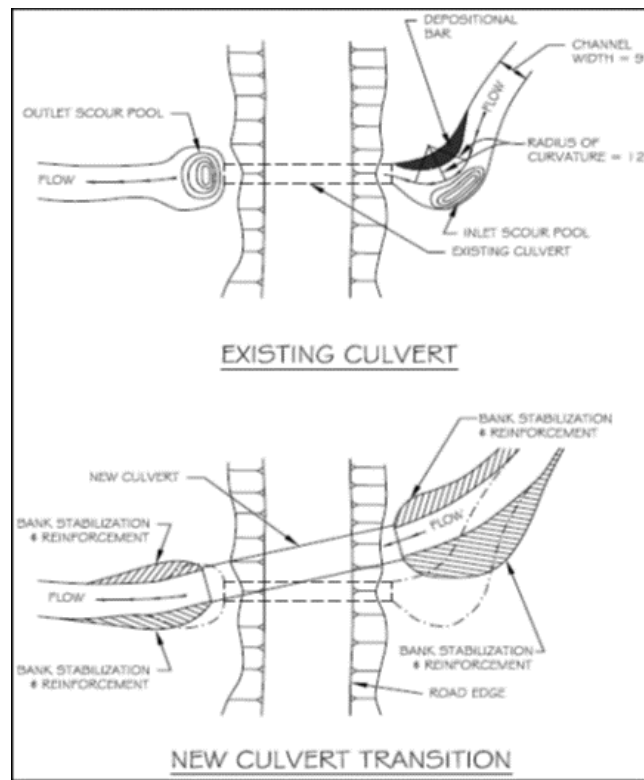
Lorsqu'on laisse une courbure du cours d'eau à l'intérieur du ponceau (option 1), les risques d'érosion sont plus grands. Lorsqu'on procède au réalignement du cours d'eau (option 2), il faut considérer que l'énergie du cours d'eau pourrait être augmentée par la réduction de sa longueur et l'augmentation de la pente qui s'en suit. Afin de prévenir l'érosion du matériel en place, la réduction de la longueur du cours d'eau devrait être au maximum de 20 %. Enfin, le choix d'élargir et de raccourcir le ponceau (option 3) peut faire augmenter les coûts de construction en raison des murs de soutènement à aménager.

Dans le cas où un ponceau est déjà en place et qu'il est prévu de le remplacer par une simulation de cours d'eau, un réalignement peut être nécessaire. En effet, si le cours d'eau présente une courbe prononcée avant son arrivée dans le ponceau, celle-ci devrait être corrigée (figure 32).



Source : FSSSWG, 2008

Figure 31 – Options de positionnement du ponceau dans une courbure naturelle du cours d'eau



Source : FSSSWG, 2008

Figure 32 – Exemple de réalignement d'un ponceau existant afin de réduire les courbes en amont de la traversée

Le ponceau à simulation de cours d'eau doit être positionné sur un plan qui présente l'ensemble des tronçons caractérisés (amont et aval). La mise en plan du cours d'eau et du ponceau permet, entre autres, de déterminer correctement la pente et l'enfouissement du ponceau à aménager. L'enfouissement du ponceau (ou l'épaisseur au thalweg du mélange) doit être d'au moins une fois et demie la taille du D100 du mélange granulométrique (ex. : épaisseur minimale au thalweg de 750 mm pour un D100 de 500 mm).

Des plans de simulations de cours d'eau faites au Québec sont présentés à titre indicatif à l'annexe A.

Le choix du mélange granulométrique à mettre en place doit se faire à l'aide de la caractérisation granulométrique faite dans le tronçon de référence, ainsi qu'avec des méthodes théoriques (voir le chapitre suivant). Les résultats de l'analyse granulométrique réalisée dans le tronçon de référence peuvent être illustrés de façon graphique et comparés aux différents mélanges granulométriques proposés dans le présent document. On choisira alors un mélange granulométrique légèrement plus grossier que celui qui est observé dans le tronçon de référence. Comme le ponceau induira une légère constriction des écoulements en temps de crue (augmentation de l'énergie des écoulements), il convient de choisir un mélange plus grossier (figure 33). L'estimation du D100 du ruisseau naturel doit également guider le choix du mélange granulométrique.

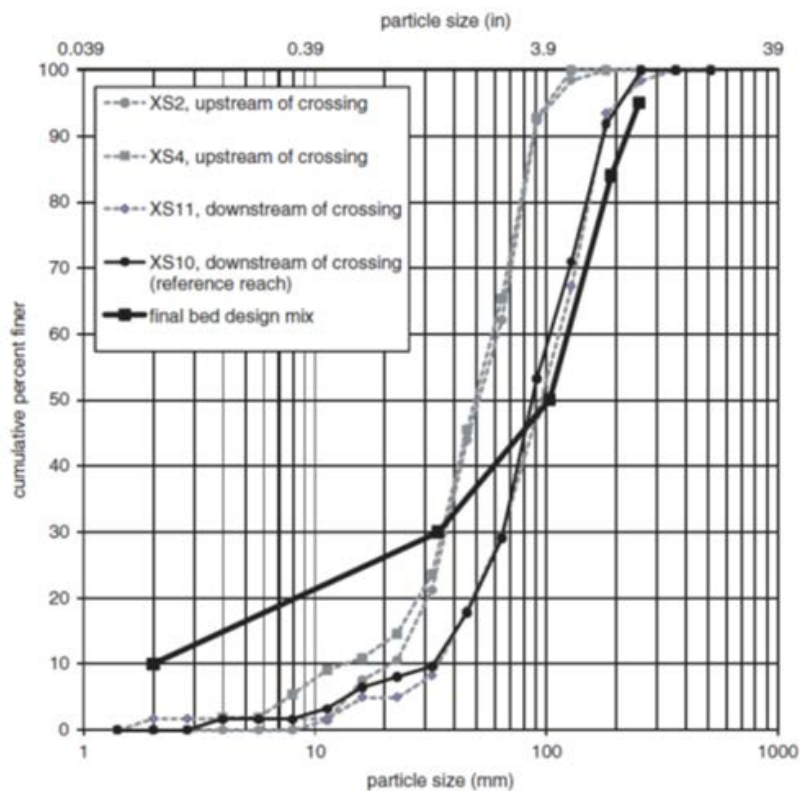


Figure 33 – Exemple de choix d'un mélange granulométrique en fonction de la caractérisation du substrat naturel d'un cours d'eau (Cenderelli et autres, 2011)

7. STABILITÉ DES MÉLANGES GRANULOMÉTRIQUES

Des analyses de stabilité des mélanges granulométriques ont été réalisées par la Direction de l'hydraulique du Ministère afin de s'assurer que le mélange choisi est susceptible de résister aux crues de conception des ouvrages. L'équation modifiée de Shield, entre autres, a été utilisée à cette fin. Les analyses de stabilité ont permis de déterminer les vitesses maximales que chaque mélange peut supporter (tableau 8). Afin d'établir les limites de vitesse selon les mélanges, une multitude de cas ont été évalués, en faisant varier la pente, la hauteur d'eau dans le ponceau, l'ouverture du ponceau et le mélange considéré. Diverses équations permettant de déterminer le coefficient de Manning ont été considérées. Elles sont présentées dans *HEC-26 Culvert Design for Aquatic Organism Passage* (octobre 2010), et la plupart mettent en relation le diamètre des grains et la profondeur d'eau. La pondération du coefficient de Manning du fond et des parois a également été considérée.

Pour la multitude de cas testés, le cisaillement appliqué par l'eau a été comparé au cisaillement admissible du mélange. La vitesse d'écoulement limite par mélange a été choisie afin que le cisaillement appliqué soit inférieur à celui qui est admissible (pour tous les cas testés dont la vitesse était égale ou inférieure à cette limite). Le débit critique unitaire (en référence à HEC-26) pouvant mettre en mouvement les grains a également été vérifié, de même que la stabilité des blocs de rive.

Il ressort des diverses analyses que le coefficient de Manning dans le ponceau entier peut être simplifié à 0,04, tout en obtenant des limites de vitesse semblables à celles établies avec des équations plus complexes.

Il faut toutefois souligner que les limites présentées au tableau 8 ne sont valides que pour des calculs effectués avec ce coefficient de 0,04. En changeant cette valeur, les vérifications effectuées pour l'établissement des limites du tableau ne sont plus valides. Le choix du mélange granulométrique doit être fait de la façon suivante :

Étape 1 : Calcul de la vitesse normale dans le ponceau

Pour la crue de conception, le concepteur doit calculer la vitesse normale d'écoulement dans le ponceau, en appliquant un coefficient de Manning de 0,04 à son ensemble (fond et paroi inclus, aucune pondération requise).

L'équation de Manning est utilisée pour déterminer la vitesse normale. Elle est résolue de façon itérative afin de déterminer la hauteur d'écoulement h (m) permettant d'atteindre le débit de la période de retour de conception de la structure :

$$Q = \frac{A R_h^{2/3} S^{1/2}}{n}$$

où (pour un ponceau rectangulaire d'ouverture B (m))

A est l'aire d'écoulement ($B h$) (m^2)

P_m est le périmètre mouillé ($B + 2h$) (m)

$R_h = \frac{A}{P_m}$ est le rayon hydraulique (m)

S est la pente de l'aménagement (m/m)

n est le coefficient de Manning posé égal à 0,04

Une fois h connu, la vitesse est déterminée ainsi :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{Bh}$$

Étape 2 : Choix du mélange

Le concepteur doit utiliser le tableau 8 afin de déterminer le mélange adéquat. La vitesse normale dans le ponceau doit être égale ou inférieure à la limite indiquée pour le mélange choisi.

Si les vitesses sont trop fortes, le concepteur peut augmenter l'ouverture du ponceau pour réduire les vitesses et recommencer la procédure.

Il faut vérifier que l'ouverture proposée demeure adéquate (LDPB + 2 blocs de rive) en fonction de la taille des blocs de rive associés au mélange (D100). Dans le cas contraire, le concepteur doit augmenter l'ouverture et recommencer à l'étape 1.

Tableau 8. Mélanges granulométriques (granulométrie minimale) suggérés selon la vitesse du courant attendue à la sortie du ponceau en période de crue de conception

Mélange granulométrique	Vitesse du courant (m/s)
A	1,1
B	1,2
C	1,3
D	1,4
E	1,7
F	1,8
G	1,9
H	2,2
I	2,5
J	3,0
K	3,2

La structure devra être assez haute pour permettre la mise en place de la simulation de cours d'eau, libérer la hauteur d'eau calculée à l'amont du ponceau et laisser un dégagement supplémentaire conforme aux exigences chapitre 2 du *Tome III – Ouvrages d'art* de la collection Normes – Ouvrages routiers du ministère des Transports. Si le concepteur juge que le coefficient de Manning réel de la simulation de cours d'eau pourrait être supérieur à 0,04 et que le ponceau pourrait être en contrôle à la sortie plutôt qu'en contrôle à l'entrée, il peut calculer la hauteur d'eau à l'amont du ponceau avec un coefficient de Manning supérieur. Cette situation est possible selon le mélange, la disposition des blocs, la pente et les conditions à l'aval du ponceau.

De façon semblable à ce qu'illustrent les dessins normalisés du chapitre 4 du *Tome III – Ouvrages d'art* de la collection Normes – Ouvrages routiers du ministère des Transports, l'aménagement aux extrémités doit être composé d'un empierrement situé sous la simulation de cours d'eau, pour les ponceaux sur radier. Pour les ponceaux sur semelles, il sera important de combler les excavations des unités de fondation par un empierrement déterminé par l'étude hydraulique. Les vides de ces protections doivent être comblés avant la mise en place de la simulation.

La vitesse déterminée à l'étape 1 peut être utilisée pour choisir le calibre d'empierrement. Si le coefficient de Manning de 0,04 est jugé trop élevé par le concepteur, le coefficient de Manning peut être revu à la baisse.

Enfin, le choix du mélange ne doit pas être revu en fonction de ces nouveaux calculs et coefficients de Manning.

8. MÉTHODES D'AMÉNAGEMENT EN CHANTIER

8.1 Mise en place du mélange granulométrique

Les mélanges granulométriques doivent être préparés et homogénéisés en carrière. Une ségrégation des matériaux durant le transport peut être observée dans les cas où le site d'aménagement serait éloigné de la carrière ayant produit le mélange. Le cas échéant, il faudra prévoir une deuxième homogénéisation en chantier avant la mise en place.

La mise en place du mélange granulométrique à l'intérieur d'un ponceau requiert certaines précautions afin d'assurer l'étanchéité du substrat. Tel qu'il a été mentionné précédemment, il est important que le mélange soit étanche et que l'eau ne s'infilte pas à travers le substrat étalé. Dans le cas où des infiltrations d'eau seraient observées en période d'étiage, le libre passage des poissons pourrait être compromis par l'assèchement du lit reconstitué.

Avant de mettre le mélange granulométrique en place, il convient de s'assurer de l'étanchéité de la matrice utilisée. Le test d'étanchéité consiste à aménager, avec une petite quantité du mélange granulométrique, un monticule présentant une légère dépression au sommet (figure 34). Une fois le monticule bien compacté, il suffit d'arroser généreusement la dépression et d'attendre un moment afin d'observer la vitesse d'infiltration de l'eau dans le substrat. S'il n'y a pas de pertes d'eau importantes (maximum de 5 cm sur 20 minutes), on peut considérer le substrat comme étanche.



Figure 34 – Test d'étanchéité d'un mélange granulométrique C (MTQ)

Lors de la mise en place du mélange granulométrique dans un ponceau, le matériel doit être déposé en couches successives. Une étanchéisation hydraulique doit être réalisée après l'étalement et la compaction de chaque couche. L'étanchéisation consiste à arroser la surface du mélange avec de l'eau. Les particules plus fines sont ainsi entraînées à travers le substrat et se déposent dans les vides créés lors de la mise en place. De cette façon, le mélange devient plus étanche que s'il avait simplement été déposé et compacté. Au moment de l'étanchéisation hydraulique, il faut vérifier les infiltrations d'eau dans le substrat et les boucher immédiatement.

L'épaisseur des couches successives dépend de la granulométrie des matériaux mis en place. Les mélanges plus grossiers devraient être étalés en couches plus minces afin de compacter le sol autour des blocs rocheux de plus forte dimension. Dans tous les cas, l'épaisseur des couches ne devrait jamais dépasser 45 cm.

La méthode à suivre pour la mise en place du mélange est la suivante :

- Étalement d'une première couche de matériaux (épaisseur max. 45 cm);
- Travaux manuels visant à imbriquer les blocs rocheux et à combler les vides;
- Compaction (équipement spécialisé et de petite dimension);
- Étanchéisation hydraulique (vérifier les infiltrations et les boucher immédiatement);
- Étalement d'une seconde couche de matériaux;
- Disposition des blocs de rive et abris de courant le cas échéant (quantité supplémentaire à ceux présents dans le mélange);
- Aménagement du thalweg (manuellement ou avec la machinerie);
- Compaction et étanchéisation hydraulique (vérifier les infiltrations et les boucher immédiatement);
- Lavage des matériaux de surface et captation des sédiments.

Les figures 35 et 36 illustrent la mise en place du mélange granulométrique et son étanchéisation hydraulique.

Dans les ponceaux fermés de petites dimensions, la mise en place du mélange granulométrique doit d'abord se faire sur plusieurs couches sur une extrémité du ponceau. Par la suite, on doit mettre en place le reste du mélange vers l'autre extrémité afin d'éviter de circuler continuellement sur la portion finalisée. Dans le cas de certains types de ponceaux, l'étalement du mélange peut se faire sur toute la longueur du ponceau préalablement à l'installation de la partie supérieure du ponceau.

Selon la hauteur du ponceau, il conviendra d'utiliser des chargeurs de type « Bobcat » ou d'effectuer les travaux manuellement à l'aide de brouettes. La machinerie et les remorques devraient être équipées de roues de caoutchouc afin d'éviter d'abîmer les ponceaux.



Figure 35 – Mise en place du mélange granulométrique et compaction (MTQ)



Figure 36 – Étanchéisation hydraulique et vérification des infiltrations (MTQ)

Enfin, il ne faut pas sous-estimer la quantité de travaux manuels à effectuer pour imbriquer les blocs rocheux et combler les vides lors de la mise en place du mélange granulométrique. Ceci est encore plus important si on utilise des matériaux dynamités ou concassés. Les matériaux naturels (ronds) sont plus faciles à imbriquer pour combler les vides. Cette étape, qui doit être effectuée avant la compaction, est essentielle afin de maximiser l'étanchéité du substrat.

8.2 Mise en eau du ponceau

Préalablement à la mise en eau définitive du ponceau, un lavage des matériaux de surface doit être réalisé à l'aide d'une pompe hydraulique (figure 37). Ce lavage à haute pression a pour but d'amorcer la création du pavage avant que les crues subséquentes ne le fassent (figure 38).

Lors du lavage des matériaux de surface, les sédiments délogés doivent être captés et filtrés avant de renvoyer l'eau utilisée dans le milieu naturel. Pour ce faire, les eaux doivent être rejetées à plus de 30 m du cours d'eau ou dirigées vers un bassin de sédimentation ou des poches de filtration. Une fois les matériaux de surface lavés, la mise en eau du ruisseau devra être progressive afin de permettre aux matériaux de s'imbriquer sans être érodés (figure 39).



Figure 37 – Lavage des matériaux de surface et captation des sédiments (MTQ)



Figure 38 – Apparence du mélange granulométrique D après le lavage des matériaux de surface (MTQ)



Figure 39 – Simulation (mélange D) après la remise en eau du cours d'eau (MTQ)

Dans les ruisseaux à pente faible où les vitesses attendues en période de crue sont peu élevées, les mélanges granulométriques plus fins sont adéquats. L'expérience nous a montré que la reprise végétale dans les cours d'eau à faible pente est très rapide dans certains cas. La figure 40 illustre la reprise végétale naturelle dans un cours d'eau, un an après la fin des travaux d'aménagement (mélange A).

L'annexe B du présent document présente un exemple de devis qui pourrait être utilisé dans les projets d'aménagement de simulations de cours d'eau.



Figure 40 – Reconstitution de cours d'eau avec le mélange A (un an après les travaux) (MTQ)

Enfin, les figures 41 à 45 illustrent de bons et mauvais exemples de simulation de cours d'eau. Les figures 41 et 42 montrent l'importance d'aménager un thalweg au centre de l'écoulement. Les figures 43 et 44 montrent l'importance de choisir un cours d'eau dont le débit d'étiage n'est pas trop faible. Finalement, la figure 45 illustre une simulation de cours d'eau qui a été aménagée en pente faible sur une longue distance. L'infiltration des eaux en période d'étiage nuit alors à la libre circulation du poisson.



Figure 41 – Simulation de cours d'eau avec thalweg aménagé (exemple à suivre) (MTQ)



Figure 42 – Simulation de cours d'eau sans thalweg aménagé (exemple à ne pas suivre) (MTQ)



Figure 43 – Simulation aménagée sur un cours d'eau présentant un débit d'étiage d'environ $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ (exemple à suivre) (MTQ)



Figure 44 – Simulation aménagée sur un cours d'eau présentant un trop faible débit d'étiage ($0,04 \text{ m}^3/\text{s}$) (exemple à ne pas suivre) (MTQ)



Figure 45 – *Simulation aménagée sur un cours d'eau présentant une faible pente et présentant un mélange granulométrique peu étanche (exemple à ne pas suivre) (MTQ)*

9. RÉFÉRENCES

BARNARD, R.J., J. JOHNSON, P. BROOKS, K.M. BATES, B. HEINER, J.P. KLAVAS, D.C. PONDER, P.D. SMITH et P.D. POWERS (2013). *Water Crossings Design Guidelines*. Washington Department of Fish and Wildlife, Olympia, Washington, US, 297 p.

CENDERELLI, D.A., K. CLARKIN, R. A. GUBERNICK et M. WEINHOLD (2011). « Stream Simulation for Aquatic Organism Passage at Road–Stream Crossings », *Transportation Research Record* volume 2203, numéro 1, décembre 2011, p. 36-45

FOREST SERVICE STREAM-SIMULATION WORKING GROUP (FSSSWG) (editors) (2008). *Stream Simulation: An Ecological Approach to Providing Passage for Aquatic Organisms at Road-Stream Crossings*, San Dimas, CA, US. Department of Agriculture, Forest Service, National Technology and Development Program, mai 2008, 617 p.

HARRELSON, CHERYL C., C.L. RAWLINS et JOHN, P. POTYONDY (1994). *Stream Channel Reference Sites: An illustrated guide to field technique*, General Technical Report RM-GTR-245, Fort Collins, CO, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 61 p.

KILGORE, R.T., B.S. BERGENDAHL et R.H. HOTCHKISS (2010). « Culvert Design for Aquatic Organism Passage », *Hydraulic Engineering Circular N° 26*, FHWA-HIF-11-008, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, octobre 2010, 234 p.

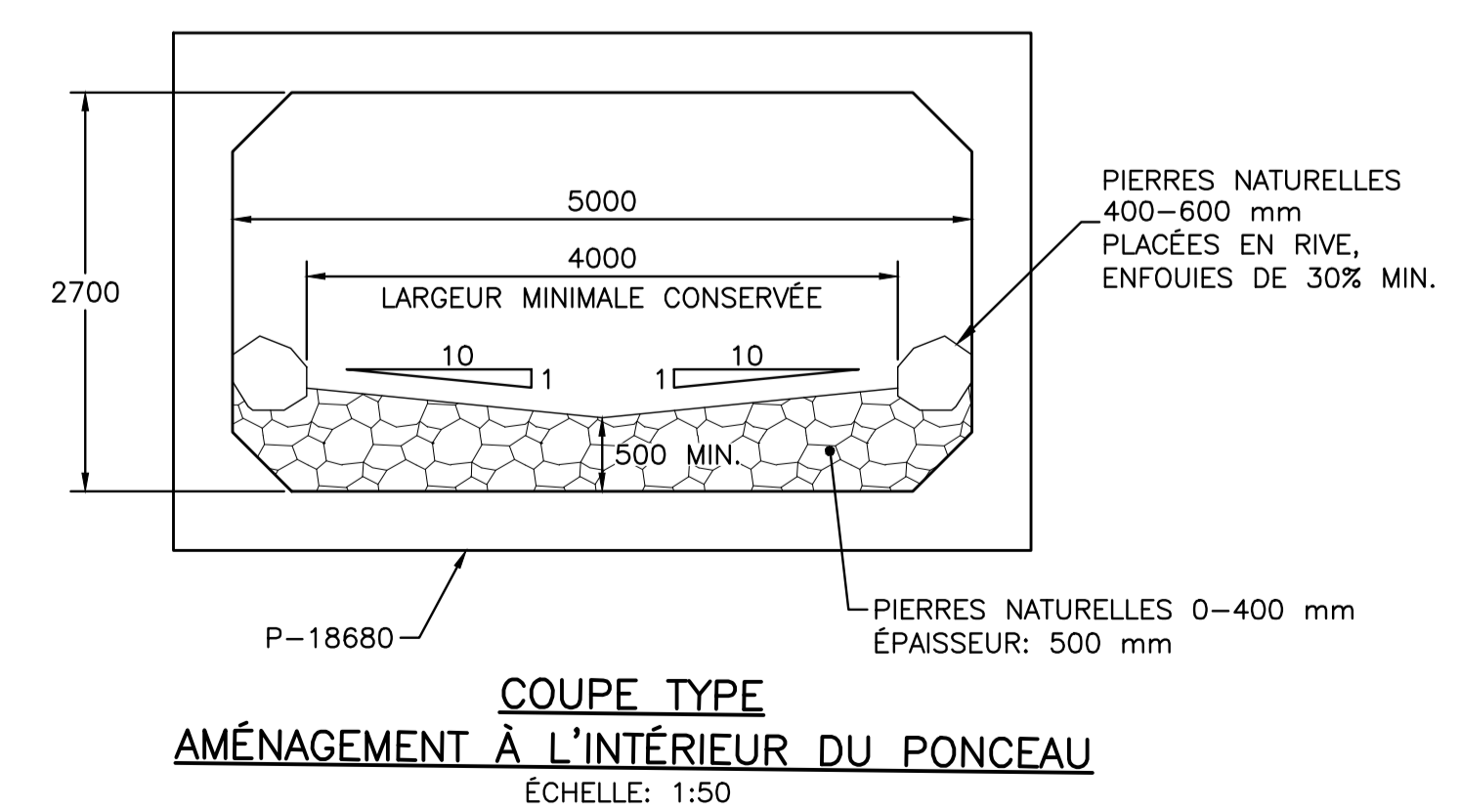
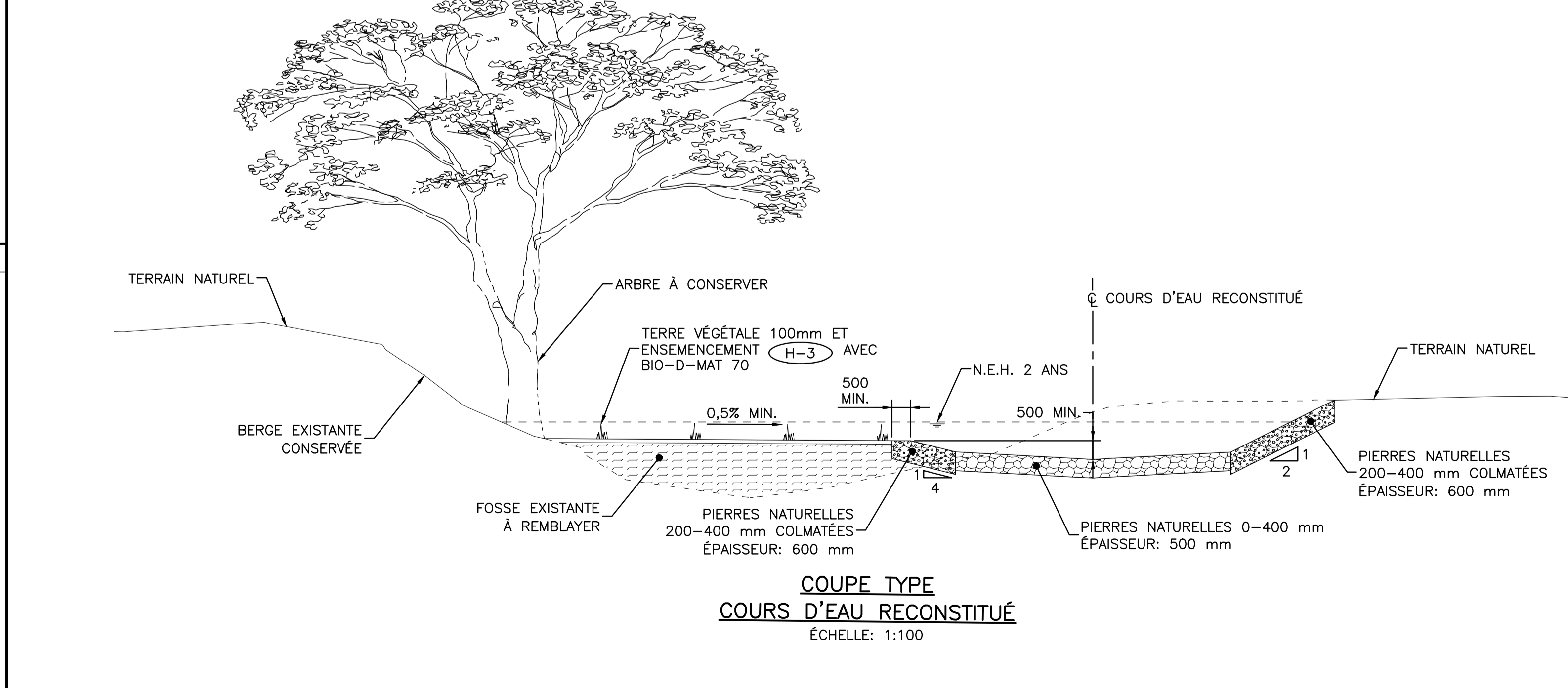
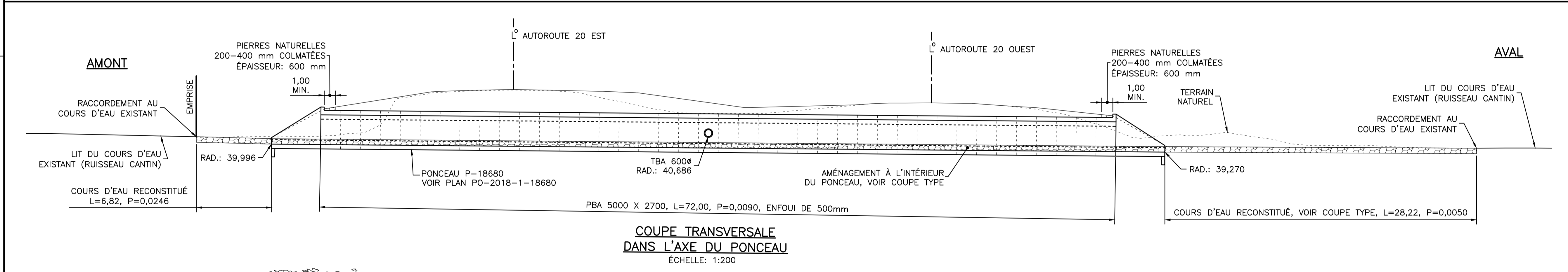
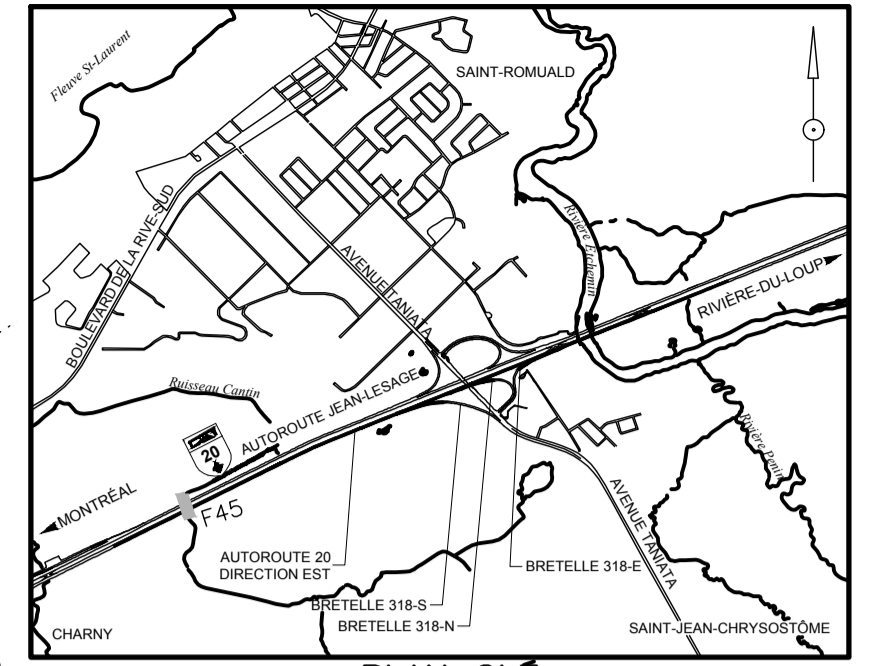
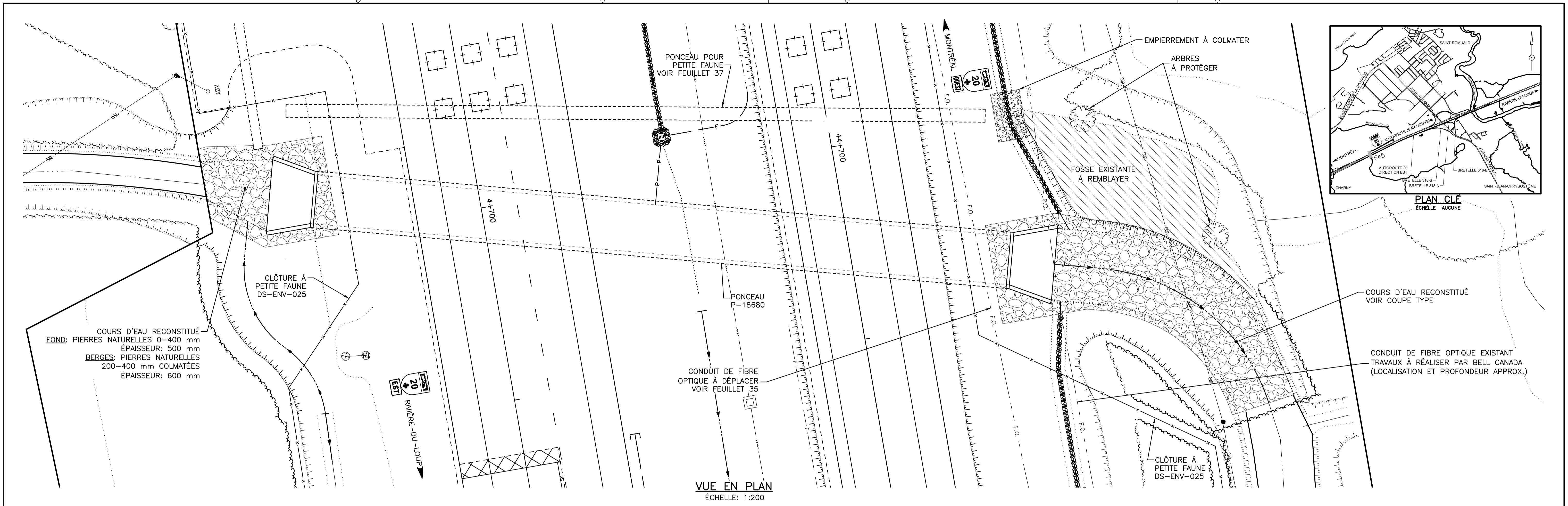
MINISTÈRE DES TRANSPORTS (2021). Tome III – Ouvrages d'art, les Publications du Québec. (collection Normes – Ouvrages routiers).

PÊCHES ET OCÉANS CANADA (2016). Lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec, 73 p.

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. « Fish Passage Design Aids Wildlife Crossing in Washington – State of the Practice », <https://www.aif.ca/wp-content/uploads/2017/07/Washington-State-Fish-Crossings.pdf>, [En ligne].

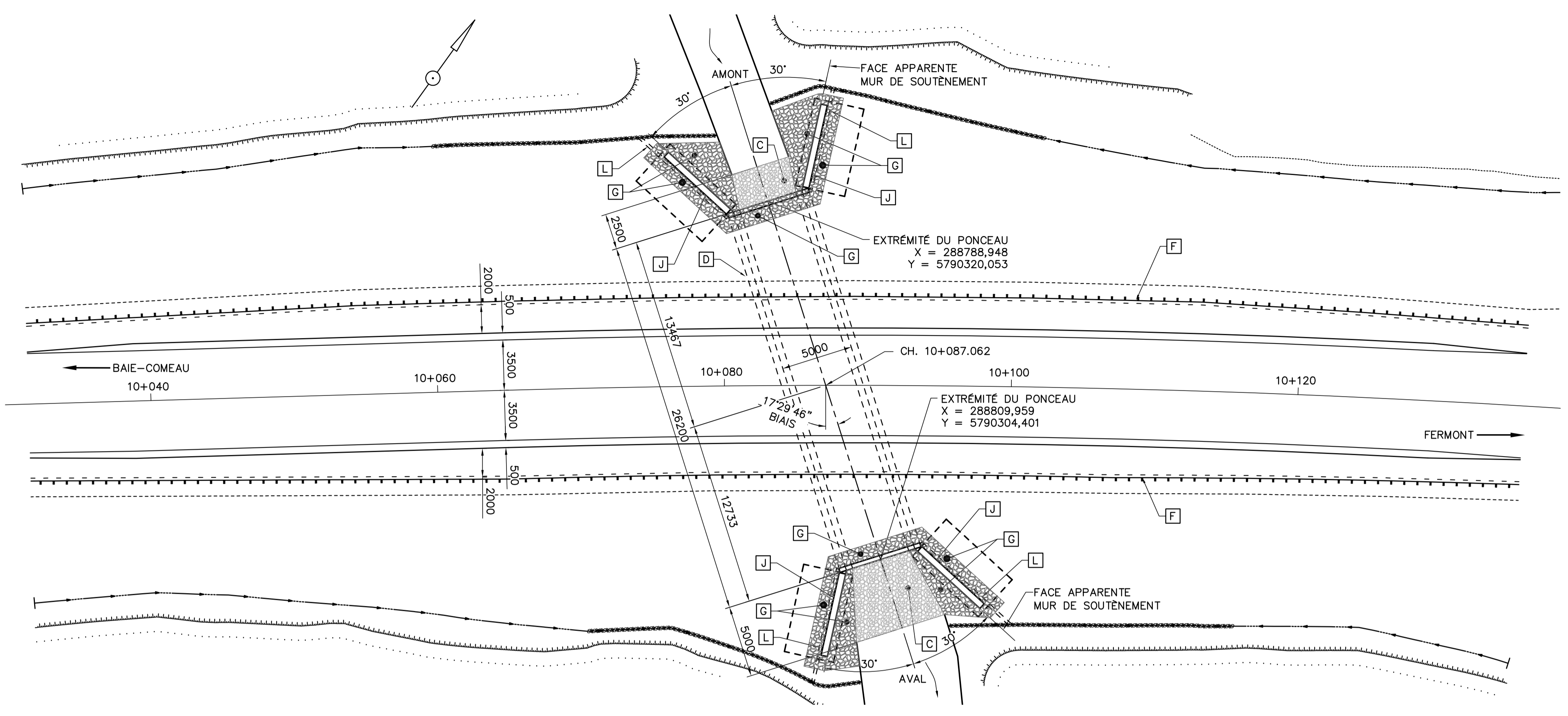
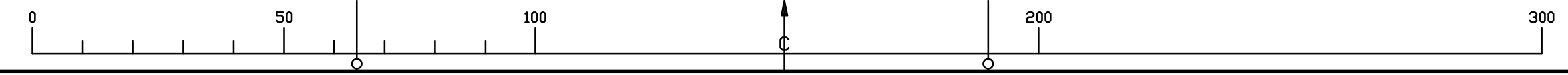


ANNEXE A
EXEMPLES DE PLANS DE
SIMULATION DE COURS
D'EAU



2019-07-05	FINAL DE CONCEPTION	ETIENNE LÉVESQUE	DIR. 143116
2018-01-24	SOUSSION-CONSTRUCTION	ETIENNE LÉVESQUE	DIR. 143116
AAAA-MM-JJ	Statut	Par	
2018-01-24	Date d'émission du plan		
Mandataire	<p>SNC-LAVALIN 5955, rue Saint-Laurent Bureau 300 Lévis (Québec) Canada G6V 3P5</p>		
Scaleu	Étienne Lévesque, ing. M.Sc.		
Vérificateur	Olivier Pilote, ing.		
Equipe technique	Michel Brousseau, tech. princ. Danick Bordeleau, tech. Marc-Olivier Grondin, tech. Erik Beaudry, tech.		
Titre	Transports, Mobilité durable et Électrification des transports 		
Unité administrative	Direction Générale des Territoires Direction de la Chaudière-Appalaches Service des Projets		
Titre	RÉAMÉNAGEMENT DU RUISSEAU CANTIN AUX EXTRÉMITÉS DU P-18680		
Échelles	horizontale INDICUÉE 0 m verticale INDICUÉE 0 m		
Numéro de plan	CH-6803-154-11-1315	38	
Identification de regroupement			

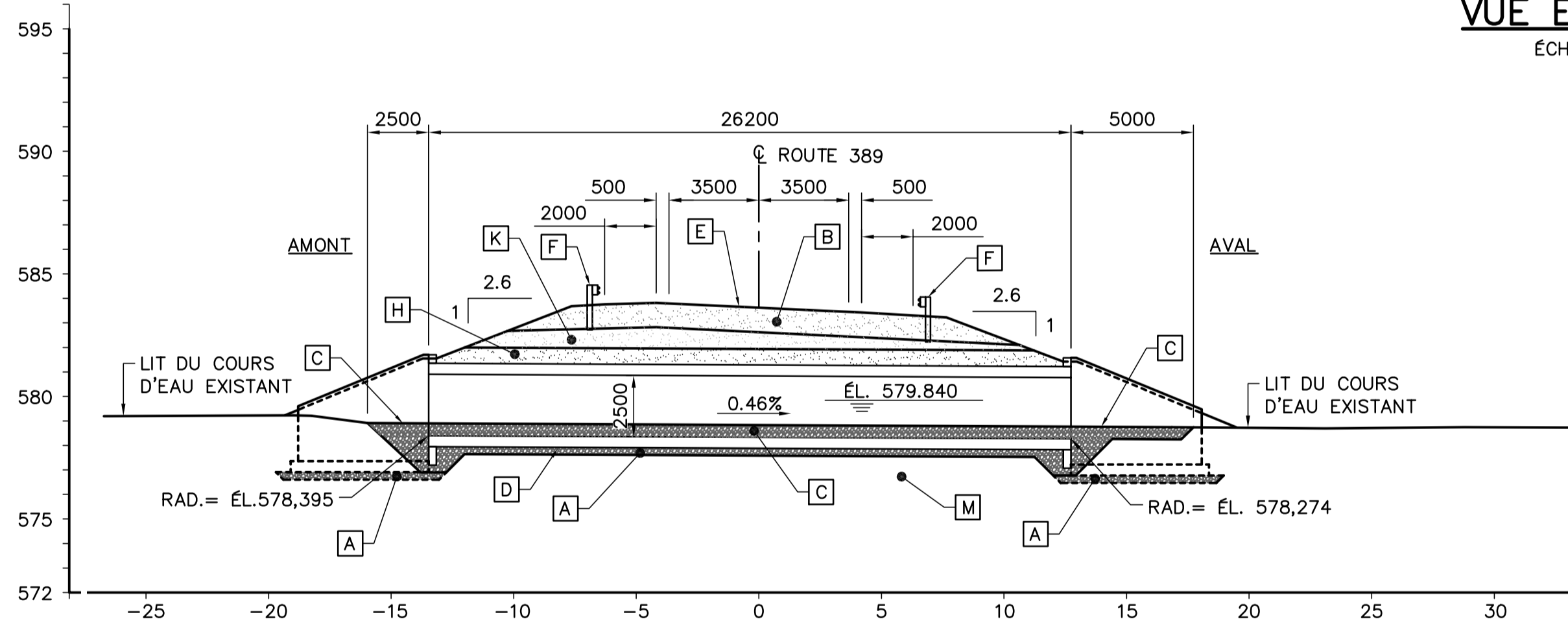
REV 07
NO 038
A20-E-36 VOIE
VÉRIFIÉ PAR: VOIR LE SOMMAIRE SUR LA LISTE DE DESIGNS PORTANT LA RÉVISION



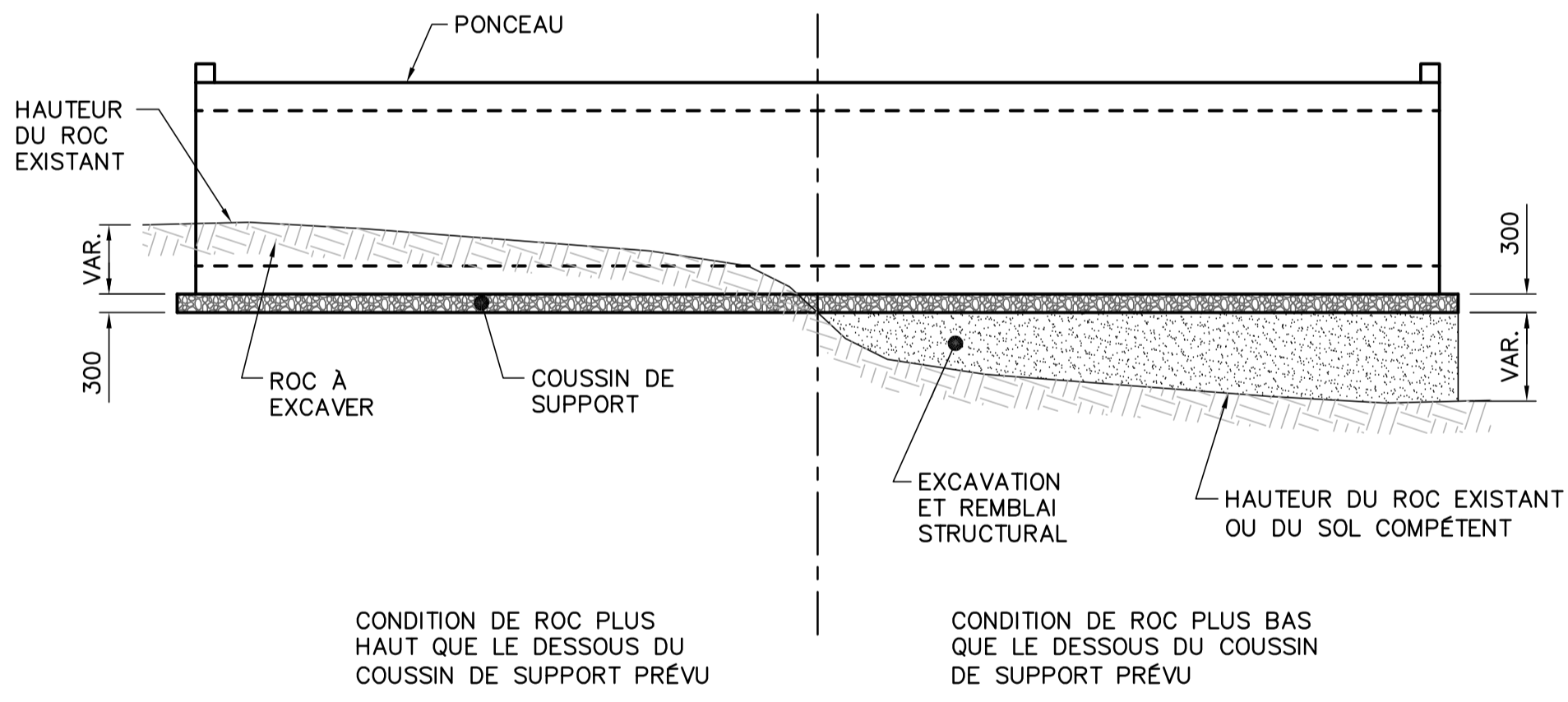
VUE EN PLAN
ECH. 1:200

- LÉGENDE**
- A COUSSIN DE SUPPORT EN MG 20, 300mm D'ÉPAISSEUR
 - B STRUCTURE DE CHAUSSEE VOIR FEUILLET 8
 - C RECONSTRUCTION DU LIT DU COURS D'EAU PAR EMPRIEMENT; CALIBRE 0-400, ÉPAISSEUR 500 mm
 - D PONCEAU 5000 x 2500
 - E CHAUSSEE, VOIR FEUILLET 8
 - F GLISSIÈRES SEMI-RIGIDES VOIR FEUILLET 8
 - G REVÊTEMENT DE PROTECTION EN PIERRE DE CALIBRE 200-300, ÉPAISSEUR 500mm, AVEC GÉOTEXTILE TYPE V.
 - H MATÉRIAU D'ENROBEMENT MG-20 OU CG-14 DENSIFIÉ AU MINIMUM À 90% DE LA MASSE VOLUMIQUE SÈCHE MAXIMALE PAR COUCHES DE 300 mm.
 - J MUR DE SOUTÈNEMENT
 - K REMPLISSAGE AVEC LES MATÉRIEAUX D'EXCAVATIONS OU UN SOL COMPACTABLE
 - L DRAIN PERFORÉ Ø200
 - M REMBLAI STRUCTURAL EN MG 20, VOIR DEVIS

- NOTES**
- LES DIMENSIONS SONT EN MILLIMÈTRES.
 - LES CHAINAGES, LES COORDONNÉES ET LES ÉLEVATIONS SONT EN MÈTRES.
 - LES DIMENSIONS ET LES ÉLEVATIONS INDICÉES SUR CHACUN DES FEUILLETS DE PLANS DOIVENT ÊTRE CORRIGÉES SI LES DIMENSIONS DES OUVRAGES EXISTANTS L'EXIGENT.
 - L'ENTREPRENEUR EST RESPONSABLE DE LA VÉRIFICATION DES DIMENSIONS RÉELLES AVANT FABRICATION.
 - LE RADIER EST ENFOUÏ DE 500mm.
 - LA LARGEUR DU FOND DES EXCAVATIONS ET LA LOCALISATION DES TRANSITIONS 1:20 DÉPENDENT DE LA MÉTHODE DE TRAVAIL DE L'ENTREPRENEUR.
 - L'ENTREPRENEUR DOIT SE RÉFÉRER À L'ÉTUDE GÉOTECHNIQUE ANNEXÉE AU DEVIS POUR CONNAÎTRE LES CARACTÉRISTIQUES DU ROC À EXCAVER.

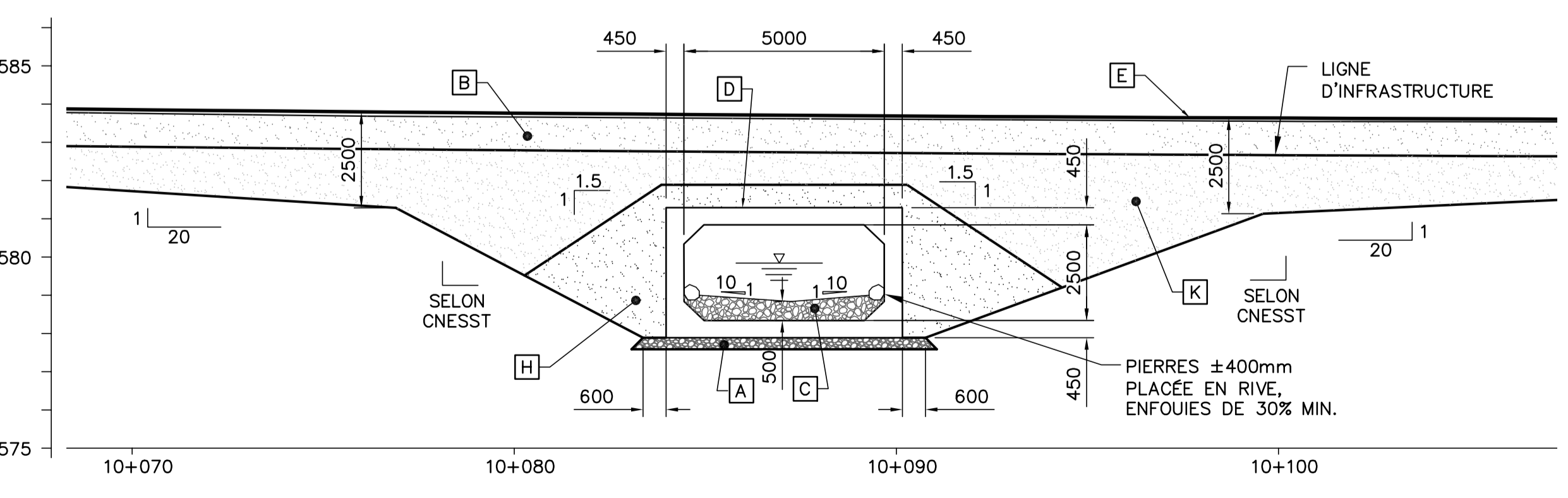


COUPE LONGITUDINALE
ECH. 1:200



DÉTAIL FOND DES EXCAVATIONS
NON À L'ÉCHELLE

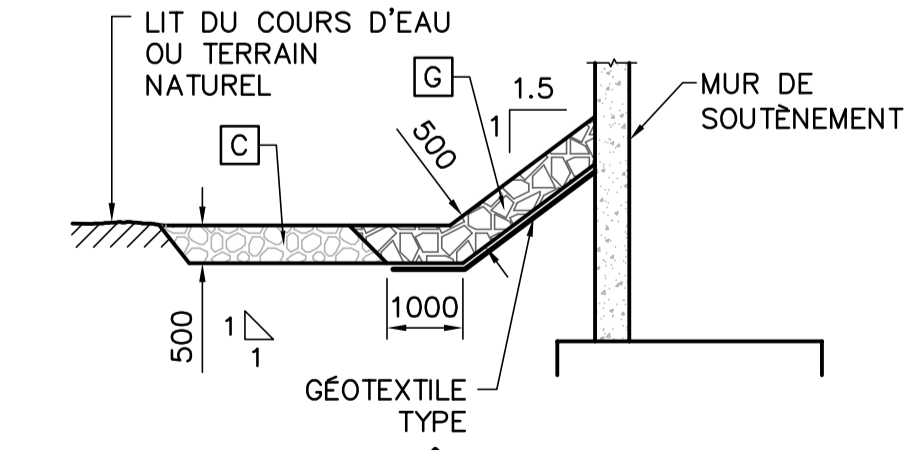
CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON		
PARTIES DE L'OUVRAGE	RÉSISTANCE ϕ 28 JOURS-MPa	TYPE DE BÉTON
MUR DE TÊTE PRÉFABRIQUÉ, MUR PARAFUILLE PRÉFABRIQUÉ MUR DE SOUTÈNEMENT PRÉFABRIQUÉ	35	V-P, V-S, XIV-C OU XVII-P
PONCEAU RECTANGULAIRE PRÉFABRIQUÉ	35	V-P, V-S, XIV-C V-DC OU XVII-P



COUPE TRANSVERSALE
ECH. 1:125

ÉLEVATIONS DES NIVEAUX D'EAU				
PÉRIODE DE RETOUR (années)	2	25	50	100 CONCEPTION
ÉLEVATION DU NIVEAU D'EAU (m)	579,84	579,99	580,02	580,04
DÉBIT D'EAU (m ³ /s)	3,96	6,08	6,57	7,08

LES ÉLEVATIONS D'EAU ET LES DÉBITS DE CE TABLEAU CORRESPONDENT À L'ÉCOULEMENT NORMAL LORSQUE L'OUVRAGE SERA EN SERVICE. LA PRÉSENCE D'OUVRAGES TEMPORAIRES TELS QUE DIGUES, BATARDEAUX, ÉTAIEMENTS, ETC., PEUT CAUSER UN REHAUSSEMENT DE CES ÉLEVATIONS QU'IL FAUT ÉVALUER LE CAS ÉCHÉANT.



COUPE TYPE D'ENROCEMENT AU DROIT DES MURS
NON À L'ÉCHELLE

CE DOCUMENT NE DOIT PAS ÊTRE UTILISÉ À DES FINS DE CONSTRUCTION OU DE FABRICATION

2020-03-27 SOUMISSION JOEL TRUCHON
AAAA-MM-JJ Statut Par
Mandataire

SNC-LAVALIN
Groupe SNC-LAVALIN inc.
5500, boul. des Galeries, bur. 200, Québec (Québec), Canada G2K 2E2
Téléphone: (418) 621-5500 Télécopieur: (418) 621-0121

Sceau

Vérificateur
DANIEL BERNARD, ing.

Équipe technique
DANIEL GAGNON, tech.

Transports Québec

Titre
PLAN D'ENSEMBLE

Numéro de plan
PO-2020-1-19812 4

Identification de regroupement

DERNIÈRE SAUVEGARDE: 2020/04/02 8:52PM
 CHEMIN: R:\660159\4-ENR-VIS-STRUC\02-DESSINS\TRAVAIL\PO-2020-1-19812_(ET)_4.dwg
 P-19812
 P-19812
 660159SG004000



ANNEXE B
EXEMPLE DE DEVIS –
SIMULATION DE COURS
D’EAU

1. Simulation de cours d'eau

1.1 Généralités

La simulation de cours d'eau doit être aménagée selon le détail montré au plan **CH-7107-154-99-0665-1**.

1.2 Matériaux

Les travaux consistent à reconstituer un cours d'eau à l'intérieur du nouveau ponceau ainsi qu'à l'entrée et à la sortie de celui-ci en utilisant un mélange granulométrique de calibre spécifique. La granulométrie du mélange doit être étalée et continue (**calibre 0-500 mm**). Les proportions du poids des différents matériaux qui composent le mélange granulométrique à mettre en place sont présentées au tableau suivant. Ces matériaux doivent être mélangés afin d'éviter toute ségrégation. Le mélange doit être uniforme.

Matériau	Pourcentage du poids dans le mélange
Poussière de pierre (0-1,5 mm)	5
MG 80	50
Enrochement 100-200 mm	20
Enrochement 200-300 mm	15
Enrochement 300-500 mm	10

En plus de la mise en place du mélange granulométrique, des blocs de rive doivent être positionnés selon l'espacement et le positionnement indiqués aux plans. Ces blocs de rives consistent en des pierres de calibre **de 500 mm** enfouies de 30 % de leur diamètre. Ces pierres ne doivent pas être prises dans le mélange granulométrique et doivent être fournies en surplus.

Les matériaux utilisés peuvent être ronds (pierre de rivière) ou présenter des particules anguleuses (concassé).

L'entrepreneur doit fournir pour approbation : la source d'où proviennent les matériaux, la méthode utilisée pour obtenir la granulométrie souhaitée et les résultats des analyses granulométriques.

L'entrepreneur doit mettre en réserve une quantité suffisante de substrat **0-500 mm** afin de produire un certificat de conformité conforme aux exigences du présent article, et ce, pour toute la durée du contrat.

Afin de faciliter la sélection de la pierre à la carrière, l'entrepreneur doit mettre en place un échantillon témoin pour chacun des calibres de pierres devant être produits pour le mélange. Les échantillons témoins doivent être approuvés par le surveillant avant leur transport au chantier. Les échantillons témoins doivent être conservés pendant toute la durée des travaux.

1.3 Mise en œuvre

1.3.1 Excavation

Les travaux doivent s'effectuer à sec. Les coupes et profils des excavations sont montrés au plan [CH-7107-154-99-0665-1](#).

1.3.2 Mise en place du mélange granulométrique

Le mélange granulométrique doit être préparé et homogénéisé en carrière. Une ségrégation des matériaux durant le transport peut parfois être observée. Le cas échéant, il faudra prévoir une deuxième homogénéisation du mélange en chantier avant la mise en place.

La mise en place du mélange granulométrique à l'intérieur d'un ponceau requiert certaines précautions afin d'assurer l'étanchéité du substrat. Il est important que le mélange soit étanche et que l'eau ne s'infilte pas à travers le substrat étalé. Dans le cas où des infiltrations d'eau seraient observées en période d'étiage, le libre passage des poissons pourrait être compromis par l'assèchement du lit reconstitué.

Le mélange doit être déposé dans le ponceau en **deux couches** successives de **XX mm** d'épaisseur. Une étanchéisation hydraulique doit être réalisée après l'étalement et la compaction de chaque couche. L'étanchéisation consiste simplement à arroser la surface du mélange avec de l'eau. Les particules plus fines sont ainsi entraînées à travers le substrat et se déposent dans les vides créés lors de la mise en place du mélange. De cette façon, le mélange devient plus étanche que s'il avait simplement été déposé et compacté. Avant de procéder à l'étanchéisation hydraulique, il est important de s'assurer qu'aucun vide n'est présent à l'intérieur de chaque couche. Pour ce faire, les vides doivent être détectés en bougeant les plus grosses pierres. Celles qui se déplacent facilement présentent souvent des vides en dessous. L'entrepreneur doit donc prévoir des travaux manuels afin de détecter et de combler les vides pouvant se situer sous les plus grosses pierres du mélange. Une fois cela fait, l'entrepreneur peut procéder au compactage et à l'étanchéisation. Le compactage doit se faire à l'aide de machinerie spécialisée de petite dimension (*jumping jack*). En effet, le compacteur doit pouvoir contourner les plus grosses pierres du mélange.

Lors de l'étanchéisation hydraulique, il faut repérer les infiltrations importantes d'eau sous la couche granulométrique et les boucher immédiatement. La fraction plus fine du mélange peut être utilisée pour boucher ces infiltrations.

La méthode à suivre pour la mise en place du mélange est donc la suivante :

- Étalement d'une première couche de matériaux (épaisseur **de XX mm**);
- Travaux manuels visant à imbriquer les blocs rocheux et à combler les vides;
- Compaction (équipement spécialisé de petite dimension);

- Étanchéisation hydraulique (repérer les infiltrations et les boucher immédiatement);
- Étalement d'une seconde couche de matériaux, comblement des vides;
- Disposition manuelle des blocs de rive D100 et des abris de courant s'il y a lieu (quantité supplémentaire à ceux présents dans le mélange);
- Aménagement du thalweg (manuellement ou avec la machinerie);
- Compaction finale et étanchéisation hydraulique.

L'épaisseur minimale du lit reconstitué est de **XX mm** mesurée au thalweg (au centre de l'écoulement). Aucune membrane géotextile ne doit être mise en place sous le lit reconstitué. Lors de la mise en place de la dernière couche, le thalweg doit être aménagé. Pour ce faire, l'entrepreneur doit étaler le substrat dans une pente de 1V : 5H à partir du centre vers les parois du ponceau, comme indiqué aux plans.

Dans les ponceaux fermés, la mise en place du mélange granulométrique doit d'abord se faire sur plusieurs couches sur une extrémité du ponceau. Par la suite, on doit mettre en place le reste du mélange vers l'autre extrémité afin d'éviter de circuler continuellement sur la portion finalisée. Dans le cas des ponceaux sur semelles de type portique, l'étalement du mélange peut se faire sur toute la longueur du ponceau préalablement à l'installation de la partie supérieure de ce dernier.

1.3.3 Test d'étanchéité

Avant l'installation définitive du substrat dans le cours d'eau, l'entrepreneur doit procéder à un test d'étanchéité. Ce test peut être réalisé à la carrière avant le début des travaux ou directement dans le cours d'eau avant l'installation définitive du substrat **0-500 mm**. La présence du surveillant est requise durant le test. Celui-ci doit permettre de démontrer que l'infiltration de l'eau dans le substrat est faible et lente. Si le mélange proposé par l'entrepreneur n'offre pas une étanchéité satisfaisante, il doit ajuster le mélange tout en respectant les exigences granulométriques suivantes : 1) entre 5 à 10 % de particules fines (80 µm et moins) et 2) maximum de 25 % de particules de 2 mm et moins.

Pour effectuer le test d'étanchéité, on doit arroser le mélange granulométrique, dans lequel on aura aménagé une légère dépression. Une fois que la dépression a été arrosée généreusement, on doit attendre un moment afin d'observer la vitesse d'infiltration de l'eau dans le substrat. S'il n'y a pas de pertes d'eau importantes (plus de 5 cm en 20 minutes), on peut considérer le substrat comme étanche.

1.3.4 Mise en eau du cours d'eau et approbation du surveillant

Préalablement à la mise en eau définitive du ponceau, un lavage des matériaux de surface doit être réalisé à l'aide d'une pompe hydraulique. Ce lavage à haute pression

a pour but d'amorcer la création du pavage avant que les crues subséquentes ne le fassent. Le pavage d'un cours d'eau est la couche superficielle exempte de particules fines.

Lors du lavage des matériaux de surface, les sédiments délogés doivent être captés et filtrés selon les spécifications du [devis 185](#). Les eaux de lavage doivent être claires avant de mettre le ponceau en eau définitivement. La méthode de nettoyage du lit reconstitué et la méthode de remise en eau doivent figurer au plan d'action pour la protection de l'environnement et être approuvées par le surveillant avant les travaux.

Une fois les matériaux de surface lavés, la mise en eau du ruisseau devra être progressive afin de permettre aux matériaux de s'imbriquer sans être érodés. Une fois la mise en eau terminée, il faut prévoir une inspection de la simulation afin de combler manuellement les infiltrations créées lors de la mise en eau. En effet, une fois le ponceau mis en eau, il est possible de détecter des infiltrations d'eau à travers le substrat. La fraction plus fine du mélange granulométrique doit être utilisée pour combler ces infiltrations. Cette dernière étape permet de maximiser l'étanchéité de la simulation de cours d'eau.

1.4 Mode de paiement

La simulation de cours d'eau est payée au mètre carré conformément au [document 211](#). Le prix comprend la fourniture des matériaux, le transport, la mise en œuvre et toute dépense incidente.

