

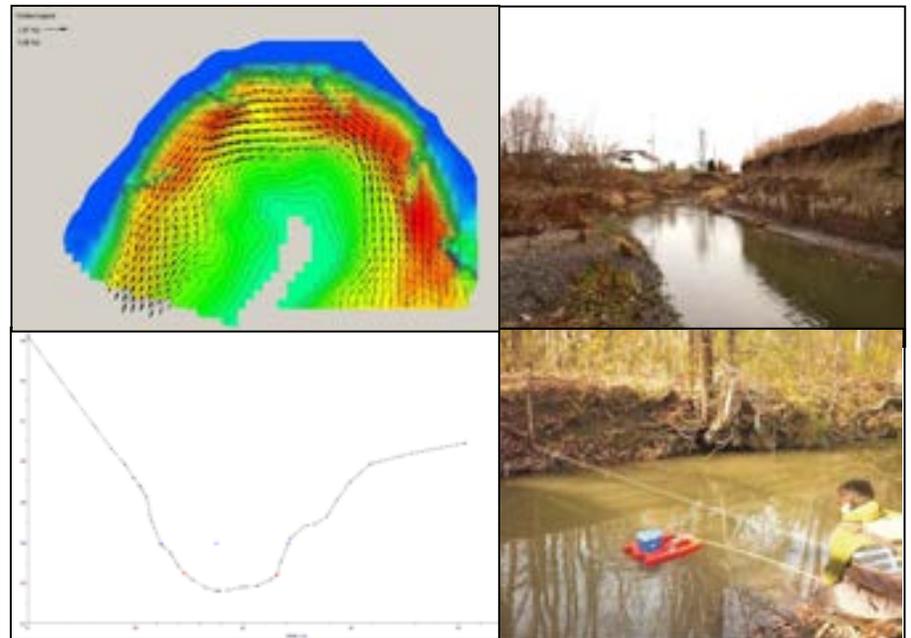


Étude hydrogéomorphologique

Rivière du Portage, ville Sainte-Catherine, QC

RAPPORT FINAL

22 MAI 2015



Préparé pour :



MRC DE ROUSSILLON

No. réf. JFSA : 1252

Préparé par :





Étude hydrogéomorphologique

Rivière du Portage, ville Saint-Catherine, QC

RAPPORT FINALE

22 mai 2015

Préparé pour :

MRC Roussillon

Préparé par :

Hugues Lachance B.sc
Hydrogéomorphologue- Associé
Directeur technique

Geneviève Marquis Ph.D
Hydrogéomorphologue

En collaboration avec l'équipe suivante chez JFSA :

Katherine Cadieux-Auger B.Sc MGP

Vanesa Carolin Peirera B.Sc ing.jr.

Uriel Huringa B.Sc M.Sc ing.jr.

Avis au lecteur

Ce rapport a été préparé par J-F Sabourin et associés inc. (JFSA) uniquement pour la MRC de Roussillon et la ville de Sainte-Catherine. Tous les autres intervenants sont des tierces parties. JFSA ne déclare, ne certifie ou ne garantit à une tierce partie, que ce soit expressément ou implicitement :

- a) L'exactitude, l'intégralité ou encore l'utilité de, tout renseignement, produit ou procédé divulgué, décrit ou recommandé dans ce rapport.
- b) Les droits de propriétés intellectuelles, ou autres droits de propriété, de toute personne ou de toute partie.
- c) La qualité marchande, l'adaptation à un usage particulier.

JFSA et la MRC Roussillon déclinent toute responsabilité de quelque nature résultant de quelque façon de l'utilisation faite par une tierce partie de tout renseignement, produit ou procédé divulgué, décrit ou recommandé dans ce rapport. JFSA et la MRC Roussillon déclinent toute responsabilité résultant de la confiance que toute tierce partie accorde à tout renseignement, énoncé ou recommandation contenus dans ce rapport. Si une tierce partie utilisait tout renseignement, produit ou procédé divulgué, décrit ou recommandé dans ce rapport, ou encore se fondait sur ceux-ci, il le ferait à ses risques et périls.



TABLE DES MATIÈRES

1 INTRODUCTION	5
1.1 Contexte	5
1.2 Objectifs de la présente expertise.....	8
1.3 Démarche générale.....	8
1.4 Principes généraux en hydrogéomorphologie	12
2 METHODOLOGIE	14
2.1 Analyse historique.....	14
2.2 Acquisition de données sur le terrain	15
2.3 Modélisation hydrologique	17
2.4 Modélisation hydraulique.....	17
2.5 Utilisation des données terrain et modélisées pour les analyses hydrogéomorphologiques	18
2.6 Estimation des conditions critiques.....	19
3 RÉSULTATS	22
3.1 Description du site à l'étude.....	22
3.2 Analyse historique.....	23
3.2.1 Analyse qualitative.....	23
3.2.2 Analyse quantitative.....	24
3.4 Analyses hydrologiques	32
3.5 Délimitation des tronçons homogènes	35
3.4 Hydrogéomorphologie des sections types	38
3.6 Conditions d'entraînement critique des sédiments	44
3.7 Synthèse des observations et résultats.....	50
3.8 Limites de la présente expertise	51
4 SCENARIOS D'AMENAGEMENT	53
4.1 Concept général d'intervention	53
4.2 Concepts d'interventions proposés.....	55
4.3 Solutions types d'intervention.....	56
4.3.1 Solutions types	58
4.3.2 Description des secteurs d'interventions.....	69
4.4 Validation des concepts d'aménagement	73
5 DISCUSSION ET CONCLUSION	74
6 BIBLIOGRAPHIE	78

ANNEXES

Annexe A : Données météorologiques de la station Saint-Hubert utilisées dans cette étude

Annexe B : Résultats de simulation hydrologique en continu

Annexe C : Fiches détaillées de caractérisation des sections types du cours d'eau

Annexe D : CD numérique (Photos numériques localisés dans Google Earth)



1 Introduction

1.1 Contexte

Les petits bassins versant et cours d'eau sont susceptibles de répondre rapidement à des changements d'occupation du sol et de modification morphologique. En général, l'agriculture et l'urbanisation tendent à modifier le régime hydrologique et sédimentaire des cours d'eau. Des crues plus fréquentes sont souvent observées conjointement à une augmentation de l'érosion. Ce type d'observation est fortement amplifié lorsque la morphologie du cours d'eau est également modifiée. L'évolution typique de ces cours d'eau est illustrée à la Figure 1. Les phases III à IV sont des états de transitions qui peuvent durer des dizaines d'années où le cours d'eau est instable jusqu'au point où il atteindra un état d'équilibre. Cette instabilité est particulièrement exacerbée dans les cours d'eau à méandres, dont l'évolution naturelle est dominée par l'érosion des berges (Figure 2). La rivière du Portage, s'écoulant au centre de la ville de Sainte-Catherine, connaît ce genre de problématiques.

Son bassin versant, d'une superficie d'environ 93 km², est majoritairement occupé par des zones agricoles en amont et par une zone résidentielle en aval. Dans les années 60, il a subi de nombreuses modifications de redressement de son tracé, ce qui accélère les processus d'instabilités induits par l'urbanisation et l'agriculture. Dans ce contexte, il est crucial de prendre en compte la dynamique hydrogéomorphologique générale du cours d'eau afin de planifier des interventions durables en regard aux problématiques d'instabilité et d'érosion des berges.



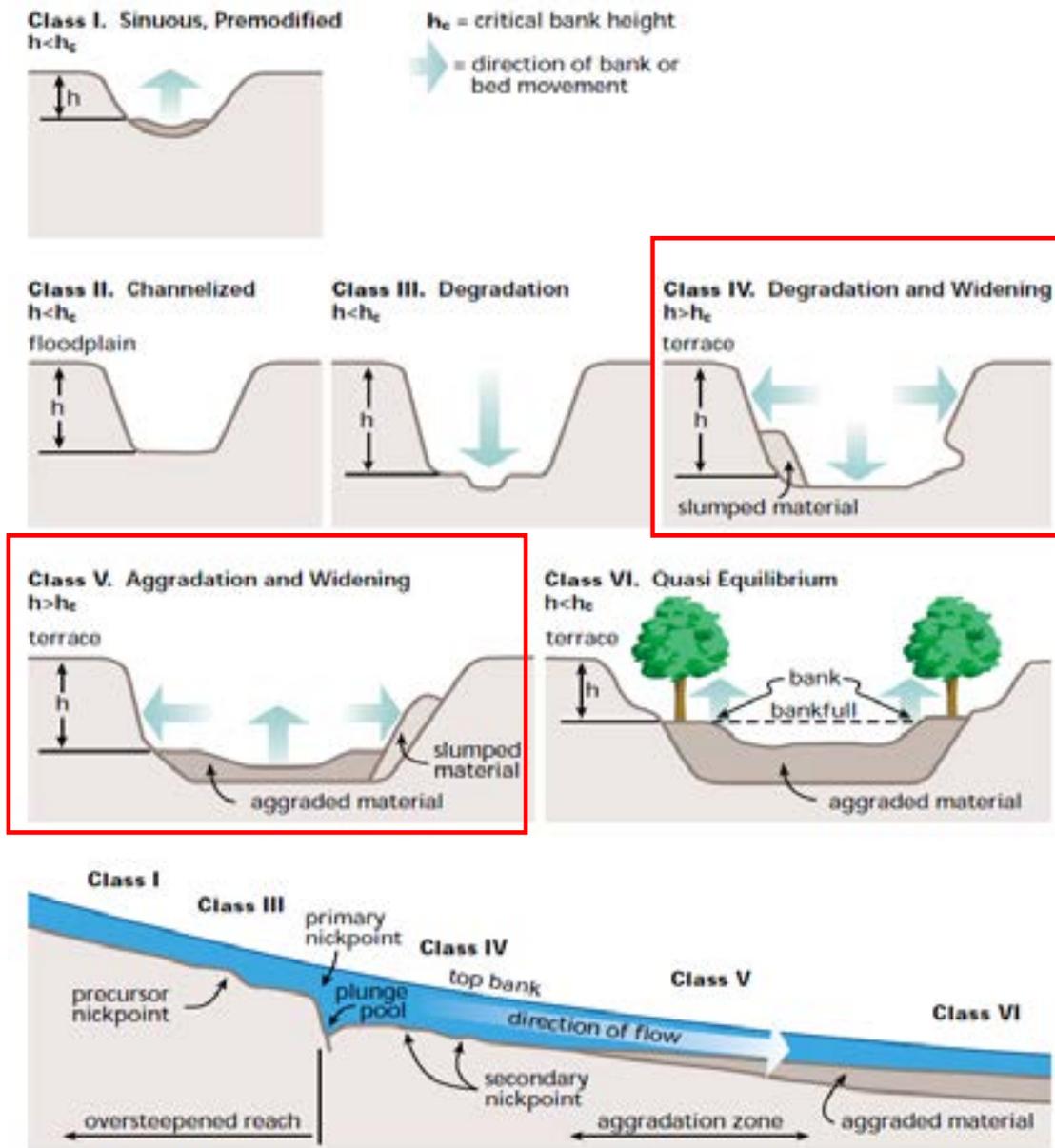


Figure 1. Modèle conceptuel d'évolution d'un cours d'eau à l'échelle de la coupe transversale et de l'amont vers l'aval (modifié de Simon & Hupp (1986) par le FISRWG (1998)).

Constatant des problématiques d'érosion des berges sur l'ensemble du parcours de la rivière du Portage sur le territoire de Ville Sainte-Catherine, les autorités municipales ont mandaté la firme LVM pour vérifier l'état des berges de la rivière du Portage en 2007. Différents états d'érosion ont été relevés entre la route 132 et le boulevard Marie-Victorin. En 2012, une mise à jour de l'état des berges par LVM a permis de constater que les processus d'érosion des berges étaient en progression, de nouveaux foyers d'érosion ayant été identifiés et d'anciens foyers étant dans un état plus avancé. Selon cette expertise, plusieurs berges sont en érosion critique, en raison de l'activité des processus d'érosion et/ou de la proximité d'infrastructures.

Afin de planifier des interventions d'atténuation et de contrôle efficaces, une étude hydrogéomorphologique de la rivière du Portage est nécessaire afin d'identifier les conditions hydrologiques, hydrauliques et sédimentaires de l'amont vers l'aval favorisant l'instabilité du cours d'eau et l'érosion des berges. La MRC de Roussillon a donc mandaté en novembre 2014 la firme J.F. Sabourin et associés (JFSA), afin de réaliser une première analyse hydrogéomorphologique de la rivière du Portage.

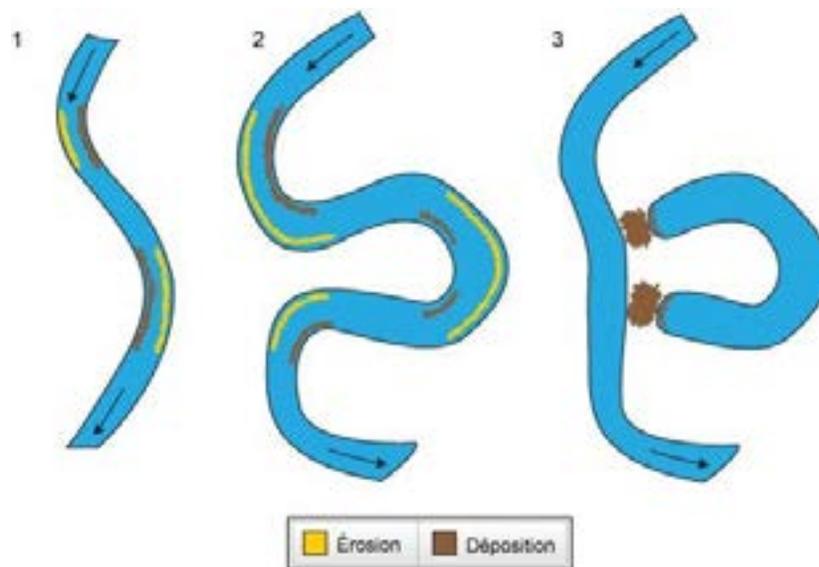


Figure 2. Évolution typique d'une rivière à méandres.

1.2 Objectifs de la présente expertise

Les objectifs généraux des services d'experts-conseils dans le cadre du présent mandat sont :

- De documenter et quantifier les conditions hydrogéomorphologiques historiques et actuelles de la rivière du Portage à l'échelle du bassin versant et du segment de rivière sur le territoire de Ville Sainte-Catherine à l'aide d'analyse historique, de prise de données sur le terrain, modélisation hydrologique, calcul hydraulique, etc.;
- De documenter et décrire les processus d'ajustement actuel et futur à l'échelle du segment de rivière ;
- D'émettre des recommandations et des pistes de solutions au niveau des problématiques d'érosion des berges sous forme de concept (à l'échelle du segment de rivière) afin d'orienter les futures orientations des travaux d'aménagement;

L'expertise hydrogéomorphologique à l'échelle du segment de rivière et les recommandations permettront d'orienter les prochaines étapes en termes de planification urbanistique et de réalisation des travaux d'aménagement.

1.3 Démarche générale

La méthodologie proposée s'appuie sur une démarche scientifique et rigoureuse en respect du standard type d'une étude hydrogéomorphologique (hydrologique et géomorphologique). L'hydrogéomorphologie se distingue en (1) étudiant l'historique du cours d'eau pour comprendre sa trajectoire géomorphologique et en (2) abordant le cours d'eau comme un système et donc en connectant les dynamiques hydrologiques et sédimentaires de l'amont vers l'aval.

Dans son ensemble, la présente démarche s’appuie sur les orientations formulées dans le document : *Adaptive management of stream corridors in Ontario* (2013). L’approche proposée dans ce document provient de la collaboration des différents ministères de l’Ontario, des agences de bassins versants et praticiens du secteur (géomorphologue, ingénieur et biologiste etc.) sur une démarche type lors de projet touchant la planification et la réhabilitation de cours d’eau. La présente expertise touche donc en partie les étapes 1 à 6. Le lecteur voulant en connaître davantage pourra consulter ce document.

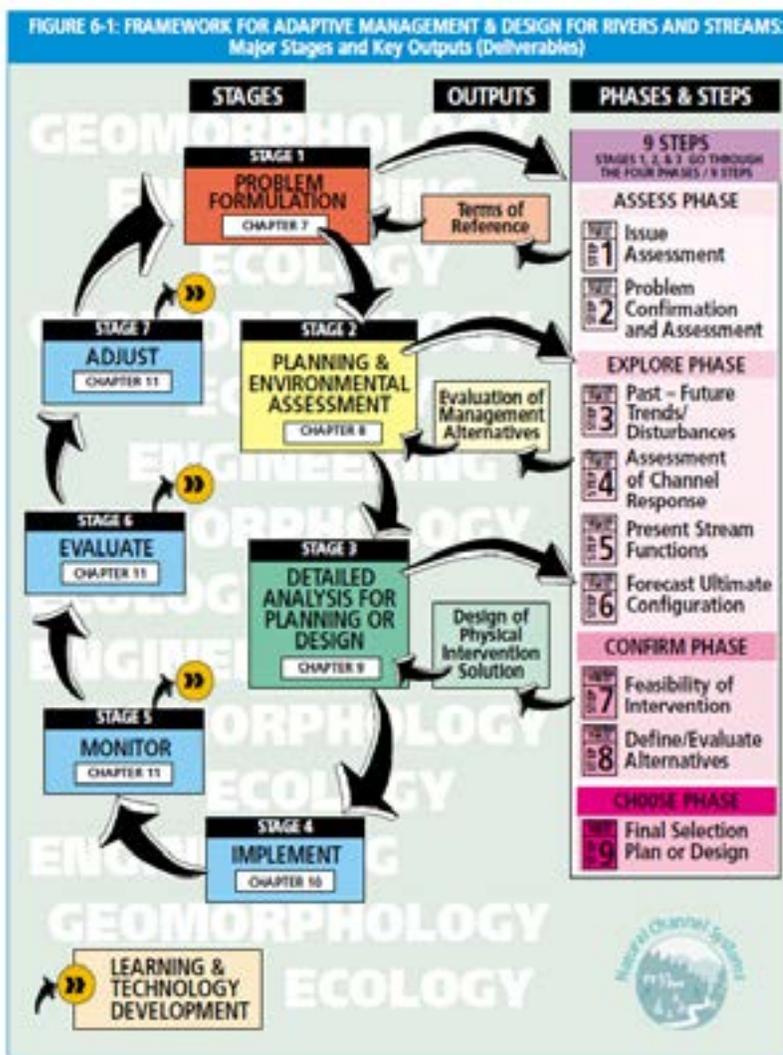


TABLE 6-2: THE NINE-STEP PROCESS	
ASSESS PHASE	
STEP 1	STEP 1: ISSUE ASSESSMENT is the first step. In the STAGE 1 Problem Formulation, the major focus of Step 1 is to recognize the issue(s) and determine how the proponent perceives the issue. In STAGE 2, the issues are revised and background information is collected on the issue. In STAGE 3 Detailed Analysis for Planning or Design, detailed information is reviewed and synthesized as a precursor for detailed data collections.
STEP 2	STEP 2: PROBLEM CONFIRMATION AND ASSESSMENT begins the process of identifying the vision for the stream corridor. STAGE 1 focuses on defining the scope of the problem and potential visions and goals for the stream corridor. In STAGE 2, the nature of the problem is assessed and specific goals and objectives are developed. In STAGE 3, the objectives are defined in physical, chemical, and biological terms – with clear deliverables identified to guide the final plan or design.
EXPLORE PHASE	
STEP 3	STEP 3: PAST - FUTURE TRENDS / DISTURBANCES explores the history of the stream corridor and its potential future. STAGE 1 focuses on determining a general “big picture” of the stream corridor. STAGE 2 catalogues landuses and other disturbances (natural and human). STAGE 3 quantifies all disturbances in space and time from the watershed scale to the scale of detailed analysis (i.e., stream corridor reach).
STEP 4	STEP 4: ASSESSMENT OF CHANNEL RESPONSE identifies the present channel characteristics and its relationship to past stresses. STAGE 1 provides a brief qualitative assessment of the stream’s response to past and present stresses by asking the question, “Where is the channel in the process of its evolution?” STAGE 2 tries to estimate this response in a quantitative manner. STAGE 3 attempts to quantitatively forecast the structural and ecological evolution of the channel under past and present disturbances.
STEP 5	STEP 5: PRESENT STREAM FUNCTIONS. STAGE 1 provides a descriptive overview of present geomorphic and ecologic functions. STAGE 2 documents and parameterizes key physical and vegetative factors at the reach scale. STAGE 3 quantifies and evaluates these functions in order to determine design requirements to meet functional objectives.
STEP 6	STEP 6: FORECAST ULTIMATE CONFIGURATION. STAGE 1 provides a qualitative estimate of channel evolution under present and future trends. STAGE 2 attempts to estimate the channel response to future disturbances, while STAGE 3 attempts to forecast (in quantitative terms) the channels ultimate configuration under present and future trends.
CONFIRM PHASE	
STEP 7	STEP 7: FEASIBILITY OF INTERVENTION. This step addresses what classes of solutions / interventions are feasible, progressing from a general list of tradeoffs (physical, ecological, chemical, and other) to a rigorous assessment of feasibility of physical intervention at STAGE 3.
STEP 8	STEP 8: DEFINE/EVALUATE ALTERNATIVES. This step develops and compares alternative solutions with a range of sophistication from “examining broad classes of solutions re: benefits and consequences” at STAGE 1 Problem Formulation to “a quantitative comparison of design choices” in STAGE 3 Detailed Analysis for Planning or Design.
CHOOSE PHASE	
STEP 9	STEP 9: FINAL SELECTION PLAN OR DESIGN. (Choose & Implement) This is the end of each stage and possibly the most important step in each stage. The key aspect of this step is to make choices and proceed either to the next stage or to a resolution of the problem. At this step, a “do-nothing option in the physical intervention sense” is a legitimate choice. The deliverables from this task vary in increasing sophistication (see Section 6.2).

Figure 3. Étape de réhabilitation et de planification touchant un cours d’eau selon l’approche *Adaptive management of stream corridors in Ontario*.



L'ensemble de la démarche scientifique réalisée dans le présent projet est fondé sur le principe que les formes observées sont le reflet des processus hydrosédimentaires dominants. La démarche et la méthodologie réalisées dans la présente expertise s'appuient sur une cueillette de données morphologiques et sédimentaires pour des sections types de la rivière du Portage et d'une analyse des changements historiques. Ces données, jumelées à une modélisation hydrologique et hydraulique, permettront de mieux documenter la dynamique spatiale et temporelle de l'évolution hydrogéomorphologique du chenal. Voici les volets développés dans l'étude :

Volet géomorphologie

- Analyse de l'évolution du tracé du cours d'eau et de l'utilisation du sol à l'aide de photographies aériennes multidates (1930, 1964, 1992, 2005 et 2012);
- Prise de données qualitatives et quantitatives sur le terrain au niveau des processus géomorphologiques dominants (débit plein-bord, incision du lit, aggradation, élargissement, etc.) à l'aide d'une station totale ou GPS haute précision. Ces données permettront à l'aide de calcul hydraulique de quantifier le débit et donc la récurrence hydrologique de ces indicateurs. Ces prises de données seront réalisées à différents segments de la rivière représentative des conditions d'écoulements;
- Lors de la prise de données, de l'information sur la granulométrie/sédimentologie des berges et du lit sera récoltée, ainsi que la morphologie du chenal et autres informations. Les échantillons pris sur le terrain seront par la suite analysés en laboratoire afin de quantifier les valeurs critiques d'érosion et de déplacements des particules.

Volet hydrologie

- Modélisation hydrologique en simulation en continu utilisant des données de pluie réelle. La simulation hydrologique a comme objectif dans ce type d'expertise de quantifier la fréquence, l'intensité et la magnitude de dépassement des seuils critiques d'érosion et des débits morphogènes. Cette information permet d'être analysé en lien avec les processus géomorphologiques dominants. Une analyse fréquentielle sera également réalisée pour les faibles périodes de récurrences (1 à 5 ans).

Volet hydraulique

- Réalisation d'un modèle hydraulique 1D du secteur à l'étude à l'aide du logiciel Hec-Ras. La géométrie du cours d'eau provient des relevés fournis par la MRC et bonifiés par JFSA. Le modèle hydraulique permet de calculer, entre autres, les vitesses, les hauteurs d'eau, les contraintes de cisaillement des différentes récurrences des débits modélisés et scénarios d'aménagement.

Cette démarche permet de cibler les causes de l'érosion et donc d'identifier des solutions qui favorisent l'équilibre du cours d'eau à long terme. Les analyses géomorphologiques, hydrologiques et hydrauliques sont complémentaires et permettent de faire des interprétations approfondies des processus hydrogéomorphologiques. Cette démarche permet également de prioriser les interventions selon les conditions locales de chaque segment en processus d'ajustement.

Mentionnons que la présente expertise a comme objectif de caractériser la dynamique de la rivière du Portage à un niveau macroscopique (échelle du segment de rivière). Les résultats présentés dans ce document devront pour la plupart être bonifiés lors d'expertise plus détaillée pour l'élaboration des plans et devis. La présente expertise est donc de nature technique. Dans un souci de réalisation d'un rapport accessible à un plus grand auditoire, plusieurs notions abordées dans le présent document ont été simplifiées et le lecteur voulant en connaître davantage est dirigé vers la littérature abondante à ce sujet.



1.4 Principes généraux en hydrogéomorphologie

L'approche générale utilisée afin d'analyser la problématique de l'érosion des berges de la rivière du Portage se base sur les principes de l'hydrogéomorphologie. L'hydrogéomorphologie, ou géomorphologie fluviale est la science qui étudie les formes des cours d'eau (méandres, géométrie hydraulique, etc.) ainsi que les processus contrôlant leur évolution (débits liquides et solides). Cette démarche a comme principal objectif de documenter le fonctionnement de la rivière à différentes échelles spatiales et temporelles. Celle-ci permet d'apporter une compréhension globale du système fluvial, de cibler les causes et les effets des problématiques actuelles d'érosion et de trouver des solutions afin de rétablir l'équilibre d'un hydrosystème.

Les rivières recherchent en permanence un équilibre entre la forme du lit (morphologie) et les débits (hydrologie). On parle ainsi d'un équilibre dynamique qui s'opère entre les processus d'érosion et de dépôt. Toute modification à ces éléments aura un effet sur l'équilibre dynamique du cours d'eau qui se traduit souvent par des ajustements morphologiques menant à un nouvel équilibre dynamique. Durant cette période d'ajustement, toute intervention dans le cours doit être analysée en détail pour obtenir l'effet escompté.

La forme à l'équilibre d'un cours d'eau est principalement conditionnée par des débits de faible récurrence, en particulier le débit dit plein bord (Wolman et Miller, 1960; Dunne et Leopold, 1978). Le débit plein bord est un indicateur simple permettant de comprendre la dynamique d'un cours d'eau, car il représente un amalgame de processus hydrologiques et sédimentaires qui ont cours à différentes échelles spatiales et temporelles. C'est le débit pour lequel le maintien de la forme du chenal est le plus efficace, c'est-à-dire le débit auquel le transport de sédiments et l'évolution de formes comme les bancs d'accumulation ou les méandres forment les caractéristiques moyennes du chenal (Dunne and Leopold, 1978). Donc, si le débit plein bord est modifié, par exemple s'il augmente ou devient plus fréquent, il y aura nécessairement un ajustement de la forme du chenal. Selon différentes études réalisées dans plusieurs bassins versants en Ontario (Annable, 1996), la valeur moyenne du débit plein bord pour un cours d'eau



rural en conditions naturelles respecte, en moyenne, une période de retour de 1.5 an, mais peut aussi varier entre 1,25 et 2 ans.

En milieu urbain, la modification des processus hydrologiques entraîne une augmentation de la fréquence des débits de faible récurrence qui, par effet cumulatif, deviennent importants dans l'évolution de la forme du chenal (MacRae, 1991). Ces débits sont identifiés comme étant le débit semi-plein bord, avec une récurrence souvent inférieure à un (1) an, un indicateur complémentaire au débit plein bord pour comprendre la dynamique d'un cours d'eau, particulièrement lorsqu'il se trouve en état de déséquilibre.



2 Méthodologie

Pour identifier les causes des problématiques d'érosion, des analyses temporelles (analyse historique, modélisation hydrologique, seuil critique d'entraînement) et spatiales (caractéristiques du site, modélisation hydraulique) seront effectuées sur les tronçons de la rivière du Portage (2732 m) et de ses deux tributaires les rivières Saint-Régis (416 m) et Saint-Pierre (584 m) situées sur le territoire de Sainte-Catherine. L'intégration de ces différentes analyses permet de découper les rivières du Portage, Saint-Régis et Saint-Pierre en tronçons homogènes selon les processus hydrogéomorphologiques dominants afin de proposer des stratégies d'intervention pour les différents secteurs en érosion identifiés par la firme LVM en 2012 et la ville de Sainte-Catherine en 2015.

2.1 Analyse historique

Une analyse diachronique de photographies aériennes a été effectuée afin de valider les changements morphologiques et d'utilisation du sol dans le secteur à l'étude. À cette fin, des photographies aériennes des années 1930, 1964, 1992, 2005 et 2012 ont été analysées en mode stéréoscopique.

Afin de permettre la comparaison des photos aériennes, des stéréomodèles ont été réalisés à l'aide du logiciel de photogrammétrie DAT/EM. Les stéréomodèles ont, par la suite, été visualisés en stéréoscopie (3D) à l'intérieur d'un système d'information géographique (S.I.G.) pour des fins d'analyse et de cartographie. Les stéréomodèles de 2013 ont servi de base pour déterminer les points d'appui et pour effectuer des comparaisons. Le centre du cours d'eau, le bas de talus et le haut de talus ont été numérisés dans le S.I.G. pour chaque série de photographies aériennes. Ceux-ci ont ensuite été comparés afin de déterminer les changements morphologiques du profil en long et en travers dans le temps.

2.2 Acquisition de données sur le terrain

Une première visite exploratoire sur le terrain combinée aux informations contenues dans le S.I.G. (topographie, réseau hydrologique, occupation du sol, etc.) a permis de cibler l'emplacement des sections types qui ont fait preuve d'un relevé géomorphologique détaillé. Les sections ont été choisies pour être représentatives des différences spatiales le long de la rivière du Portage et de ses branches en considérant la sinuosité, la pédologie de la pente du cours d'eau, le degré de confinement, l'utilisation du sol en bordure des berges et autres paramètres pertinents.

Au total, huit sections ont été choisies, six le long du cours d'eau principal et deux dans les tributaires (Figure 4). Ce nombre de sections est suffisant pour faire une analyse macroscopique tout en conservant un niveau de détails suffisant pour comprendre des dynamiques qui seraient plus locales.

Pour chacune des sections, ces mesures ont été systématiquement relevées par deux (2) hydrogéomorphologues :

- un relevé topographique composé de trois coupes transversales sur une distance d'environ 50-75 m a été effectué à l'aide d'un système de positionnement global (GPS) de type Leica RTK 1200 et d'une station totale de type Leica TCR 705;
- Des échantillons des matériaux du lit et des berges de la rivière ont été prélevés puis envoyés en laboratoire pour des fins d'analyses sédimentologiques et granulométriques;
- Des observations sur les processus visibles (sédimentation, érosion, élargissement, incision, etc.), la végétation, les perturbations et autres ont été notées.



Figure 4. Secteur d'étude, localisation des sections détaillées et délimitation des tronçons homogènes à l'étude.

2.3 Modélisation hydrologique

Un modèle de simulation hydrologique en continu à l'aide de SWMHYMO a été réalisé dans le but de produire une analyse statistique des débits de pointe annuels obtenus (1965 à 1999) à partir des pluies réelles horaires de la station météorologique Saint-Hubert. Les données utilisées pour l'analyse sont présentées à l'Annexe A. Les données d'intrant du modèle telles que le découpage et la superficie des sous-bassins versants, le coefficient CN et autres proviennent de l'étude hydraulique de Dessau (2007). Le seul paramètre ayant été modifié a été le temps de concentration. Celui-ci a été calculé à l'aide de l'équation développée par Michaud (2014). L'analyse statistique a été réalisée à partir des ajustements GEV, Gumble et Log-Pearson III sur les débits maxima annuels sur 35 ans. Aucune différence significative n'a été observée entre ces ajustements.

De plus, le modèle hydrologique en continu a été utilisé afin d'analyser la fréquence, la magnitude et l'intensité de différentes récurrences hydrologiques sur une base annuelle sur une période de 35 ans en condition actuelle d'utilisation du sol.

2.4 Modélisation hydraulique

L'analyse hydraulique des sections types a été effectuée à l'aide du logiciel HEC-RAS version 4.1, ou *Hydrologic Engineering Center River Analysis System*. Ce logiciel de modélisation hydraulique 1D permet de déterminer, entre autres, les niveaux d'eau, les vitesses moyennes et la contrainte de cisaillement (force de l'écoulement) à différentes sections du cours d'eau en fonction des débits et des obstacles (ponts, ponceaux, obstructions, etc.) ainsi que de modéliser différents scénarios d'aménagement. Tout le secteur à l'étude a été modélisé à partir d'une combinaison de coupes transversales provenant de l'étude de Dessau (2007) et des coupes transversales effectuées dans la présente expertise. Au total, 102 coupes transversales espacées de 30 à 50 m ont été intégrées dans le modèle hydraulique.

Le modèle hydraulique a été calibré à l'aide des données provenant de l'étude de Dessau (2007). Ces données, soit trois (3) événements hydrologiques à trois sites distincts, ont été utilisées afin de calibrer le coefficient de rugosité du fond et des berges du modèle. La calibration du modèle a permis d'obtenir des niveaux d'eau inférieurs à 0.05 m en comparaison de l'étude de Dessau (2007).

L'effet de la sinuosité du cours d'eau sur le cisaillement estimé dans le modèle hydraulique a été corrigé à l'aide de l'indice de tortuosité Tr (rayon de courbure/largeur) selon le facteur de correction de Sclafani (2010) :

$$K = 2.47Tr^{-0.235}$$

2.5 Utilisation des données terrain et modélisées pour les analyses hydrogéomorphologiques

L'association des informations du modèle hydraulique aux données topographiques permet de définir les caractéristiques géométriques, hydrauliques et sédimentaires pour chacune des sections types. Aussi, il est possible d'identifier les valeurs des débits dominants en combinant les élévations des marqueurs géomorphologiques relevés sur le terrain aux élévations des différents débits modélisés dans les sections relevées. Aux fins de l'analyse hydrogéomorphologique, les marqueurs géomorphologiques des débits semi-pleins bord et plein bord seront utilisés pour comprendre le rôle de l'écoulement sur les dynamiques d'érosion observées par la firme LVM en 2012. Ces informations de base permettent par la suite de calculer les vitesses critiques d'érosion, puissance spécifique et autres informations pertinentes en regard à l'érosion des berges et du lit du cours d'eau. L'avantage de cette approche pour les expertises hydrogéomorphologiques est qu'elle permet de quantifier les nombres d'heures (magnitude) de dépassement et le nombre de fois (fréquence) des vitesses critiques d'érosion sur une base annuelle.

2.6 Estimation des conditions critiques

Le transport de sédiments, qu'il soit en suspension ou en charge de fond, est le principal processus permettant à la morphologie d'évoluer. Ce processus dépend de l'interaction d'une multitude de facteurs complexes dont la résultante est très difficile à prédire de manière précise. Un indicateur clé permettant de comprendre le transport de sédiments dans un cours d'eau est le seuil d'entraînement critique, soit la force nécessaire pour que les sédiments commencent à bouger.

Les conditions critiques d'entraînement des sédiments échantillonnés dans les sections types ont été estimées à partir des analyses granulométriques. Les sédiments provenant des berges des huit sections détaillées sont de natures cohésives avec de fortes concentrations en limons (2 à 62.5 µm). Les sédiments du lit sont généralement non cohésifs et composés de sable et gravier, sauf là où le cours d'eau s'est incisé jusqu'à une couche d'argile varvée. L'entraînement des sédiments cohésifs est difficile à estimer, car il ne dépend pas uniquement de la taille des grains individuels, mais aussi des interactions complexes des forces de cohésion entre les sédiments, de leur densité, de leur contenu en eau, etc. Plusieurs équations existent pour estimer les conditions critiques d'entraînements des sédiments cohésifs et il est généralement souhaitable d'en utiliser plusieurs pour comparer les valeurs obtenues. Dans cette étude, nous en avons retenu quatre qui s'appliquaient aux conditions du secteur d'étude et aux données disponibles :

- Shields (1936) (dans Fischenisch 2001) $\tau_c = \tau_c^* (\rho_s - \rho) g D \tan \theta$
- Smerdon and Beasley 1 (1961) $\tau_c = 3.54 \times 10^{-28.1 D_{50}}$
- Smerdon et Beasley 2 (1961) $\tau_c = 0.493 \times 10^{0.0182 P_c}$
- Julian and Torres (2006) $\tau_{1c} = C_1 VEG (0.1 + 0.1779 P_1 SC + 0.0028 P_1 SC^2 - 2.34 \times 10^{-5} P_1 SC^3)$

Où τ_c est le seuil d'entraînement critique, τ_c^* est le seuil critique d'entraînement sans dimension (varie selon la taille des sédiments), g est la constante d'accélération gravitationnelle, D est la taille de sédiments d'intérêt qui est égal au D_{50} dans cette étude, la taille médiane de l'échantillon de sédiments, θ est l'angle de repos des particules (varie selon la taille), P_c est le pourcentage d'argile de l'échantillon, P_{SC} est le pourcentage d'argile et de limon de l'échantillon et C_{VEG} est le facteur de correction pour la végétation riveraine (égal à 1 dans cette étude).

L'équation de Shields (1936) ne tient pas en compte la cohésion des sédiments, mais elle est très largement utilisée dans plusieurs contextes et sert de référence ici. Aussi, les forces d'entraînements estimées (pour la taille médiane des sédiments) à partir de cette équation sont valides pour les particules qui ne sont pas consolidées dans le lit ou les berges, mais sont en transit dans le cours d'eau. Les trois autres équations ont été développées spécifiquement pour les sédiments fins et cohésifs. Les équations 2 et 3 découlent des mêmes données de laboratoire, mais se basent sur une caractéristique différente des sédiments, dans un cas la taille médiane des particules et dans l'autre le pourcentage d'argile de l'échantillon. L'équation 4 utilise le contenu en argile et limon de l'échantillon pour estimer une force d'entraînement des particules. Il est aussi possible de corriger la force estimée en fonction de la densité de la végétation. Dans cette étude, ce facteur d'ajustement n'est pas utilisé pour que les valeurs obtenues soient comparables aux équations 2 et 3.

L'estimation du seuil d'entraînement à partir d'équation pour les sédiments non cohésifs dépend principalement du poids individuel des particules, de la forme des particules, de la densité des particules et de l'interaction avec les autres particules présentes. Les équations de Shields (1936) (équation 1) et de Komar (1987) (équation 5) seront utilisées. L'équation de Shields (1936) ne tient en compte que le poids des particules alors que celle de Komar (1987) tient aussi en compte l'interaction avec les autres particules :

- Komar (1987) $\tau_c = 0.045(\rho_s - \rho)gD_{50}^{0.6}D^{0.4}$

En raison de la complexité du transport de sédiments, les valeurs estimées des seuils d'entraînement des sédiments présentés dans cette étude ne sont pas absolues et indique plutôt un ordre de grandeur des forces nécessaires pour mobiliser les sédiments. Afin de valider les valeurs calculées à l'aide des équations utilisées des essais in situ sur le terrain et en laboratoire pourraient être réalisés.



3 RÉSULTATS

Les résultats des différentes analyses sont résumés dans la présente section. Les résultats sont présentés afin de répondre aux différentes interrogations de la MRC de Roussillon et livrables compris à l'intérieur du mandat octroyé.

Le transport sédimentaire et l'évolution morphologique d'un cours d'eau étant un phénomène complexe, les résultats présentés dans la présente expertise constituent donc un premier constat de connaissance de la rivière du Portage et de ses deux tributaires. Malgré tout, nous pensons que la démarche réalisée permettra de cibler les actions futures à entreprendre afin d'orienter des interventions adéquates dans les rivières étudiées.

3.1 Description du site à l'étude

La rivière du Portage est localisée en Montérégie et sa portion aval, le secteur à l'étude, s'écoule dans la zone urbanisée de Sainte-Catherine. En amont, les deux tributaires de la rivière du Portage, les rivières Saint-Régis et Saint-Pierre, après avoir traversé la municipalité de Saint-Constant, drainent presque exclusivement des terres agricoles. Dans les années 60, suite à la création de l'Office du drainage du MAPAQ, ces cours d'eau ont subi des travaux importants afin d'améliorer leur drainage, notamment par la linéarisation des tracés qui présentaient une sinuosité beaucoup plus élevée que celle d'aujourd'hui.

Le secteur à l'étude est traversé par un peu plus de 3.5 km linéaires de cours d'eau entre la route 132 et le boulevard Marie-Victorin. La rivière du Portage se jette dans le fleuve Saint-Laurent qui n'influence pas son niveau d'eau à cause de la présence d'un seuil et de la voie maritime. Le long de son parcours, la rivière reçoit plusieurs émissaires pluviaux. Le long des rives, on retrouve principalement des terrains résidentiels et des terrains municipaux formant un parc linéaire discontinu. Près de la 132, les cours d'eau sont bordés par un secteur industriel peu dense.



Tout le bassin versant est situé dans la province géologique des basses terres du Saint-Laurent et conséquemment les pentes y sont faibles sur l'ensemble du territoire. Dans le secteur d'étude, le socle rocheux est composé de calcaire du Groupe de Trenton et de shale et grès calcaire du Groupe de Lorraine qui se sont formés durant l'Ordovicien moyen et supérieur. Les sols en place se sont développés dans un manteau de dépôts glaciaires d'épaisseur variant de 0.5 à 6 m mis en place il y a 13 000 ans. Les dépôts glaciaires sont variés, allant de Tills remaniés à des dépôts fluviatiles remaniés, en raison de la complexité du retrait glaciaire qui y a eu lieu. Les rivières Saint-Régis et Saint-Pierre s'écoulent sur un sol argileux de type Sainte-Rosalie qui a l'origine de dépôts de la mer de Champlain alors que la rivière du Portage traverse des sols composés de limon argileux lourd de Saint-Blaise, dont l'origine, est un till remanié (Thériault et Godbout, 1943; Lamontagne et al, 2000).

3.2 Analyse historique

3.2.1 Analyse qualitative

L'analyse historique à partir de photographies aériennes multidates permet de documenter la morphologie d'une rivière à différentes périodes dans le passé. Cette analyse de nature qualitative permet de mieux comprendre la dynamique et les problématiques actuelles. Dans l'ensemble, d'importants changements morphologiques et d'occupation du sol ont eu lieu sur les segments de rivière à l'étude. Ces éléments sont décrits en synthèse dans les paragraphes suivants et présentés sous forme de carte à la Figure 5.

Changements de l'occupation du sol

- Jusque dans les années 1960, la presque totalité du bassin versant était utilisée à des fins agricoles, avec quelques îlots forestiers;
- Des îlots d'ensembles résidentiels apparaissent dans les années 1980;
- La trame urbaine devient continue autour de l'an 2000;



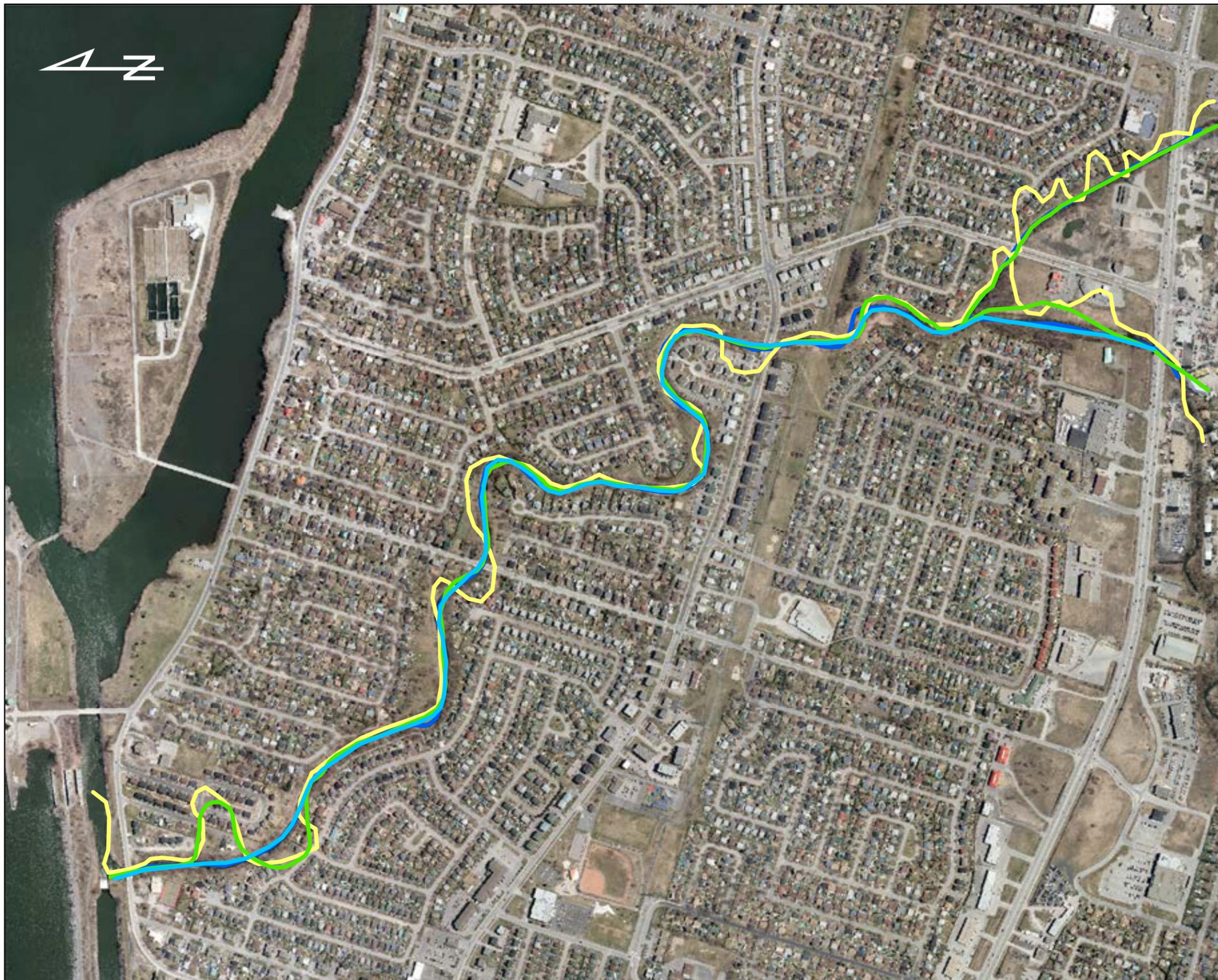
Changements morphologiques

- En 1930, le tracé de la rivière du Portage possédait un style fluvial à méandres non confinés sur la majorité de son parcours;
- Dans les années 1960, on remarque que d'importants travaux de redressement ont eu lieu sur plusieurs segments de la rivière Portage et de ses tributaires; les tributaires, soient les rivières Saint-Régis et Saint-Pierre, ont été entièrement linéarisés sur le secteur à l'étude; la confluence change d'emplacement; la sinuosité est diminuée le long de la rivière du Portage;
- Entre 1964 et 1992, le tracé est stable à l'exception du secteur aval qui a été fortement redressé et la rivière Saint-Régis qui a été déplacée vers l'ouest à l'aval de la route 132.
- Depuis 1930 jusqu'à 2013, la longueur totale de la rivière est passée de 5200 m à 3791 et la pente de 0.0015 à 0.002.

3.2.2 Analyse quantitative

Une analyse quantitative a été réalisée afin de quantifier l'évolution morphologique des chenaux des cours d'eau à l'étude. L'analyse a permis de quantifier l'évolution du profil en plan, en travers et en long. Cette analyse a été réalisée en utilisant le logiciel de photogrammétrie DAT/EM. Afin de faciliter la comparaison multi date des photographies aériennes, des points d'appuis communs en planimétrie (X, Y) et en altitude (Z) ont été utilisés afin de permettre la comparaison et l'ajustement des stéréo modèles. À cet effet, les photographies aériennes des années 1964, 1992 et 2005 ont été utilisées. Malheureusement, les photographies aériennes de l'année 1930 n'ont pu être utilisées étant donné la faible qualité de l'image et la non disponibilité des paramètres de vols.





Tracé historique

Légende

année

— 1930

— 1964

— 1992

— 2013

PAR :



CLIENT



Projet :

**Étude hydrogéomorphologique
Rivière du Portage**

No.	PAR	DATE	DESCRIPTION	APPR.

ÉCHELLE: 0 0.075 0.15 0.3 Kilomètres

Figure 5

CONÇU : GM
DÉSSINÉ : GM
VÉRIFIÉ : GM
APPROUVÉ : HL

DESSIN REF.

DATE
25 mai 2015

PROJET NO.
1252

Figure 5. Évolution du tracé de la rivière du Portage et de l'occupation du sol



Afin de simplifier la présentation des résultats d'évolution morphologique, les analyses ont été réalisées à certains points stratégiques, tel que présentés à la figure 6.



Figure 6. Localisation des profil en plan et en travers

Profil en plan

L'analyse du profil en plan permet de quantifier l'évolution morphologique de la rivière au niveau de la mobilité latérale. Étant donné que la rivière a subi d'importants travaux de redressement à plusieurs endroits, la quantification de ce processus s'avère difficile. Afin de faciliter la démarche, cinq (5) sites ont été analysés afin de quantifier l'évolution morphologique moyenne. Le tableau 1 présente les résultats et la figure 7 présente un exemple.

Site	Migration (m)	Nombres d'années	Moyenne (m)	Remarques
1	3.4	48	0.07	Secteur linéaire
2	4.1	48	0.09	stabilisation des berges depuis +/- les années 1990
3	3.5	48	0.07	En rive concave
4	5.9	48	0.12	En rive concave
5	6.7	20	0.34	Analyse de 1992 à 2012

Tableau 1. Migration moyenne annuelle du profil en plan

L'analyse sur une période de 48 ans (1964 à 2012) permet d'affirmer que l'évolution morphologique du profil en plan de la rivière évolue en moyenne selon une intensité de 0.13 mètre annuellement, avec un intervalle variant entre 0.07 et 0.35 mètres annuellement selon les sites. Tel qu'attendu, ce processus est d'autant plus important dans la rive concave des méandres.



Figure 7. Évolution d'un méandre au PK 2550 de 1992 à 2012

Profil en travers

L'analyse du profil en travers (*cross-section*) permet de quantifier l'évolution morphologique de la rivière en regard aux processus géomorphologiques d'élargissement de la section d'écoulement. Afin de faciliter la démarche cinq (5) sites ont été analysés afin de quantifier cette évolution. Le tableau 2 présente les résultats et la figure 8 présente un exemple.

Site	Élargissement (m)	Nombres d'années	Moyenne (m)	Remarques
A	1.6	20	0.08	1992 à 2012
B	2.4	20	0.12	1992 à 2012
C	2.8	20	0.14	1992 à 2012
D	3.2	20	0.16	1992 à 2012
E	4.6	20	0.23	1992 à 2012

Tableau 2. Migration moyenne annuelle du profil en travers

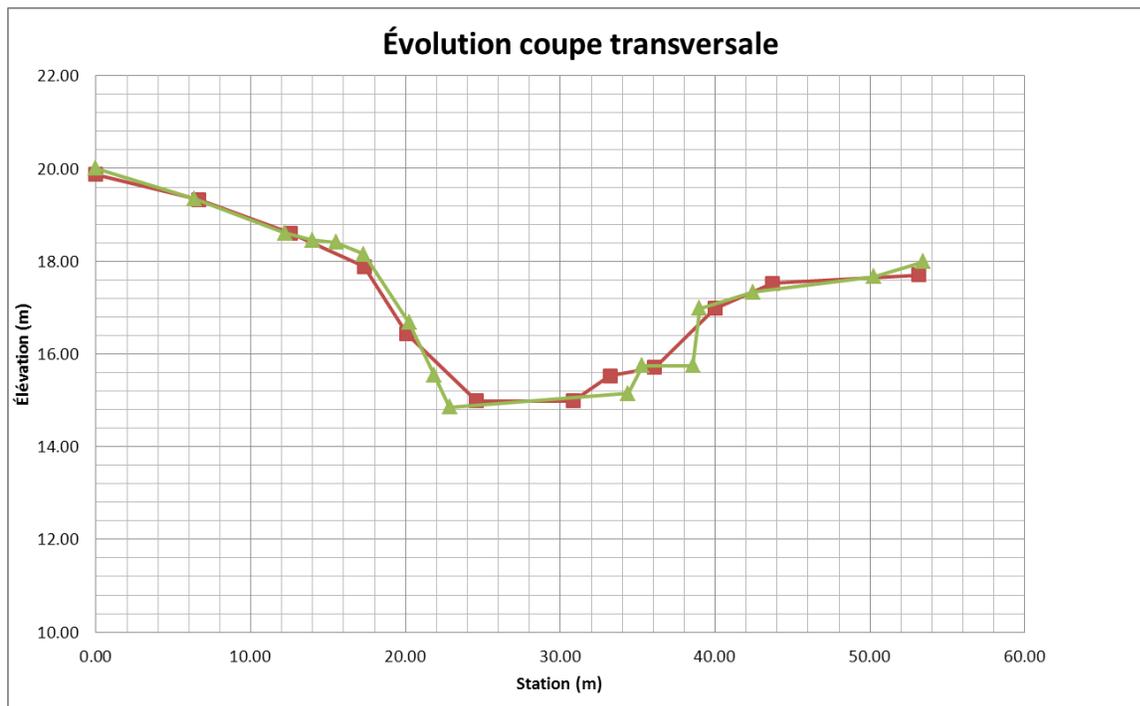


Figure 8. Évolution du profil en travers au PK 145 (St-Régis) de 1992 à 2012

L'analyse sur une période de 20 ans (1992 à 2012) permet de valider que l'évolution morphologique du profil en travers évolue selon une intensité moyenne de 0.13 mètres annuellement sur l'ensemble des sites. L'intervalle entre les sites varie énormément, cet élément étant directement associé au stade d'ajustement du cours d'eau et à l'intensité des processus géomorphologiques dans ces segments de rivière.

Profil en long

L'analyse du profil en long permet de quantifier l'évolution morphologique de la rivière en regard aux processus géomorphologiques d'incision du lit. La présente démarche a été complexe au niveau technique étant donnée la grande précision nécessaire au niveau photogrammétrique. Ainsi, malgré les efforts consentis, la comparaison sur un long linéaire du profil en long n'a pu être réalisée de façon exhaustive. Nous avons donc concentré nos efforts sur l'analyse de deux (2) segments. Ces segments sont localisés entre les PK 0 et 345 sur le ruisseau St-Régis et le PK 150 et 635 sur la rivière Portage. La figure 9 présente le profil en long du ruisseau St-Régis.

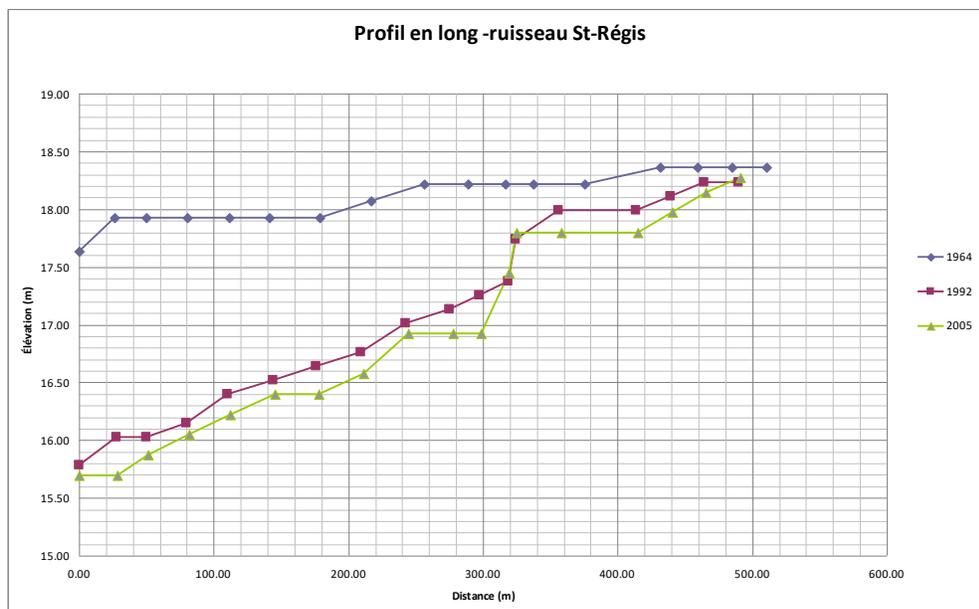


Figure 9. Évolution du profil en long sur le ruisseau St-Régis de 1964 à 2012

L'analyse sur une période de 48 ans (1964 à 2012) permet de valider que l'évolution morphologique du profil en long a évolué de façon impressionnante pour le ruisseau St-Régis entre les années 1964 et 1992 puis s'est stabilisé de 1992 à aujourd'hui. Ainsi, sur ce segment, une incision du lit a été quantifiée de +/- 0.08 mètres annuellement. Ce processus d'incision du lit

est directement relié au recouplement des méandres dans les années 1940-1950 et ainsi à l'augmentation de la pente.

Sur le deuxième site, le profil en long a évolué de façon beaucoup moins importante. Ainsi, sur ce segment, une incision du lit a été quantifiée de +/- 0.02 mètres annuellement. Comme le ruisseau St-Régis, une incision plus marquée du lit entre les années 1964 et 1992 a été quantifiée puis s'est stabilisée de 1992 à aujourd'hui. Malgré le manque d'information à ce sujet, nous considérons que le processus d'incision du lit sur la rivière Portage est actuellement très limité selon nos observations sur le terrain car il a atteint à plusieurs endroits son niveau de base (schiste).



3.4 Analyses hydrologiques

Une modélisation hydrologique par simulation en continu à l'aide de pluie réelle pour les années 1965 à 1999 a été réalisée à l'aide du modèle hydrologique SWMHYMO. L'objectif de cette analyse hydrologique était de documenter les débits de faible récurrence (1 à 5 ans). De plus, le modèle hydrologique en continu a permis d'analyser la fréquence, la magnitude et l'intensité de différentes récurrences hydrologiques sur une base annuelle en condition actuelle.

La connaissance de ces informations est très importante dans le cadre d'une expertise en hydrogéomorphologie, car la forme du chenal d'un cours d'eau est principalement conditionnée par des débits de faible récurrence, en particulier le débit dit plein bord (Wolman et Miller, 1960; Dunne et Leopold, 1978). C'est le débit pour lequel le maintien de la forme du chenal est le plus efficace, c'est-à-dire le débit auquel le transport de sédiments et l'évolution de formes comme les bancs d'accumulation ou les méandres forment les caractéristiques moyennes du chenal (Dunne and Leopold, 1978). Donc, si le débit plein bord est modifié, par exemple s'il augmente ou devient plus fréquent, il y aura nécessairement un ajustement de la forme du chenal.

À ce sujet, le Tableau 3 présente les valeurs de débits plein bord et semi-plein bord calculés à partir des relevés réalisés sur le terrain. Ces valeurs de débits proviennent des indicateurs morphologiques observés sur le terrain et validés par la suite à l'aide de calcul hydraulique à l'aide de Hec-Ras. Ces valeurs correspondent à des valeurs moyennes calculées par rivière.

Tableau 3. Débits plein bord et semi-plein bord

Rivière	Du Portage	Saint-Régis	Saint-Pierre
Débit plein bord (m ³ /s)	14.5	7.4	8.2
Débit semi-plein bord (m ³ /s)	3.8	2.2	2.7

Le Tableau 4 présente les résultats d'analyse fréquentielle réalisée à partir des valeurs de maxima annuels de la simulation en continu réalisée sur une période de 35 ans. Mentionnons à ce sujet que ces valeurs ne comprennent pas les processus liés à la fonte de neige combinée aux précipitations de pluie.

Tableau 4 : Résultats de l'analyse hydrologique statistique (Log-Pearson III)

Rivière	Du Portage	Saint-Régis	Saint-Pierre
Réurrence	Débit (m ³ /s)		
1 an	8.7	4.7	3.9
1.25 an	12.7	6.9	5.7
1.5 an	18.0	9.8	8.0
2 ans	25.5	13.8	11.3
5 ans	47.0	25.7	20.7

Les valeurs de débits calculés pour la rivière du Portage et ces tributaires témoignent que les indicateurs morphologiques de débit plein bord sont associés à des récurrences entre 1.25 et 1.5 an. Ces valeurs observées sont comparables aux différentes études réalisées dans plusieurs bassins versants en Ontario (Annable, 1996), la valeur moyenne du débit plein bord pour un cours d'eau rural peu urbanisé en conditions naturelles respecte, en moyenne, une période de retour de 1.5 an, mais peut aussi varier entre 1.25 et 2 ans.

Quant aux valeurs de débit dit semi-plein bord, elles sont associées à des récurrences hydrologiques faibles sous les valeurs de 1 an. Ces valeurs seraient plutôt associées à une récurrence de quelques mois (+/- 0.4-0.5 ans). Nous présumons selon notre expérience dans l'analyse hydrologique et hydrogéomorphologique de ce type de rivière et bassin versant que les valeurs de débit semi-plein bord sont associées à une précipitation de 22 mm distribuée sur +/- 4 heures. Ce type de pluie et distribution représentant 80 % des événements pour la région de Montréal.

Les modifications morphologiques potentielles d'un cours d'eau étant guidées entre autres par l'intensité, la durée et la fréquence de dépassement des seuils critiques d'érosion, une analyse statistique a été effectuée à cet effet. Le Tableau 5 présente les résultats de simulation

effectuée sur les trois (3) rivières. Les statistiques présentées représentent les valeurs moyennes observées sur un horizon de 35 ans pour les débits plein et semi-plein bord présenté au Tableau 1. Les données plus détaillées sont disponibles en annexe B.

Tableau 5. Dépassement annuel moyen des débits semi-plein bord (DSPB) et plein bord (DPB)

Rivière	Du Portage		Saint-Régis		Saint-Pierre	
	DSPB	DPB	DSPB	DPB	DSPB	DPB
Durée totale excédée (h)	242	36	367	100	245	53
% temps annuel excédé	4.7	0.7	7.2	1.9	4.7	1.0
Nombre de fois excédée (moy)	8	2	9	4	8	3

En synthèse, les points saillants suivants peuvent être observés suite à l'analyse hydrologique :

- Les valeurs de débit plein bord observées sur le secteur à l'étude sont en accord les études (Annable, 1996), c'est-à-dire des valeurs de +/- 1.5 ans;
- L'analyse statistique réalisée à partir des maxima annuels est en accord avec les marqueurs de débit plein bord observé sur le terrain soit +/- 1.25 à 1.5 ans;
- La fréquence moyenne de dépassement annuelle des débits plein bord suit les valeurs observées habituellement pour des rivières peu urbanisées (imperméabilisé) soit de +/- 2 fois par années. À ce niveau, la rivière Saint-Régis montre une légère tendance à la hausse avec une valeur moyenne de 4 fois par année;
- Les valeurs de débit semi-plein bord sont dépassées plusieurs fois par année pour une moyenne de +/- 8 fois pour les rivières sur le secteur à l'étude.

À ce sujet, mentionnons que l'urbanisation de la partie aval du bassin versant n'a que très peu d'influence en regard au débit plein bord. Ces observations sont liées au fait que la partie urbanisée est localisée dans la partie aval du bassin versant et ainsi une désynchronisation des débits de pointe est présente. Ce constat avait également été observé dans l'étude de Dessau (2007). Comme mentionnés, ces résultats de simulation n'intègrent pas les phénomènes de

ruissellement associés à la fonte de neige combinée à la pluie. Or selon l'étude de Dessau (2007), les valeurs de débit les plus élevées annuellement seraient associées aux événements de fonte de neige combinée à la pluie. Selon Dessau (2007) une différence de +/- 36 % serait présente entre les débits de pointe d'une crue printanière d'une récurrence de 2 ans et une pluie estivale de même récurrence. Or, la fonte printanière produit des volumes de ruissellement beaucoup plus important et donc une période plus longue (nombre d'heures) durant laquelle une valeur de débit de 1.5 an peu perduré par exemple.

De plus, en période printanière, les berges sont à nu et sans végétation ce qui peut influencer de façon non négligeable l'érosion des berges. Finalement, notons également qu'en période printanière on note sur ces rivières la présence de transport de glace, ce qui peut influencer encore une fois l'érosion des berges. L'ensemble de ces éléments sera discuté dans les prochaines pages de la présente expertise.

3.5 Délimitation des tronçons homogènes

En fonction de la configuration spatiale du secteur à l'étude, nous divisons les cours d'eau à l'étude en six tronçons homogènes (Figures 4 et 10). Le Tableau 6 résume les caractéristiques de chaque tronçon qui sont décrites sommairement ici :

- Le tronçon A s'étend sur 600 m de l'embouchure de la rivière du Portage à l'aval de la section 2 et correspond au secteur linéarisé après les années 1960. Il est caractérisé par une pente forte de 0.0025 et un tracé linéaire. La géomorphologie semble s'adapter progressivement par la présence de seuil plus rapproché que dans le reste de la rivière Portage. On n'y retrouve aucune berge déjà stabilisée. L'érosion moyenne à élevée des berges se retrouve sur de longs segments.
- Le tronçon B s'étend sur 850 m de l'aval de la section 2 à l'amont de la section 3 le long de la rivière du Portage. Ce secteur présente une pente un peu moins forte de 0.002 et un tracé plus sinueux que le tronçon A. On n'y retrouve aucune berge déjà stabilisée.

L'érosion des berges moyenne à élevée est localisée et des secteurs en érosion critique sont situés dans des méandres à forte sinuosité.

- Le tronçon C s'étend sur 1200 m de l'amont de la section à la confluence des rivières Saint-Régis et Saint-Pierre. C'est ce tronçon qui a la pente la plus faible de 0.00024 et la sinuosité la plus élevée. La majorité des berges déjà stabilisées se retrouve dans ce tronçon. Les secteurs en érosion moyenne à élevée sont associés aux méandres ou près des structures de stabilisation de berge. La berge concave d'un méandre court à forte sinuosité est en érosion critique.
- Le tronçon D s'étend sur 100 m à la confluence des rivières Saint-Régis et Saint-Pierre. La pente y est très forte (0.008) probablement en raison de la reconfiguration de la confluence dans les années 60. Tout le secteur est en érosion moyenne à élevée. Les berges y sont très abruptes.
- Le tronçon E correspond aux premiers 400 m de la rivière Saint-Régis et a une pente assez forte de 0.005 et son tracé est entièrement linéaire. Toutes les berges présentent un niveau d'érosion.
- Le tronçon F correspond aux premiers 550 m de la rivière Saint-Pierre et a une pente assez faible de 0.0007 et son tracé est entièrement linéaire. La berge de la rive droite est déjà stabilisée alors que la rive gauche présente de longs secteurs d'érosion moyenne à élevée.

La sinuosité de tous les tronçons a diminué entre 1930 et 2013 (sinuosité = distance la plus courte entre l'amont et l'aval/longueur du tracé). Les tronçons A, D, E et F sont les plus affectés avec un tracé quasi linéaire illustré par un indice de sinuosité près de 1. Tel que discuté, la coupure des méandres a un effet direct sur l'augmentation de la pente du lit. Le tronçon C est le moins affecté avec un indice de sinuosité qui a changé de 0.62 à 0.67 entre 1930 et 2013.

Tableau 6. Caractéristiques des tronçons homogènes du secteur à l'étude

	Tronçon A	Tronçon B	Tronçon C	Tronçon D	Tronçon E	Tronçon F
Caractéristiques générales						
Rivière	du Portage	du Portage	du Portage	Confluence	Saint-Régis	Saint-Pierre
Chaînage	RP0 à RP600	RP600 à RP1475	RP1475 à RP2750	RP2750 à RSR125 et RSP100	RSR 125 à RSR350	RSP100 à RSP525
Longueur (m)	600	825	1275	225	225	425
Pente du lit	0.00250	0.00200	0.00024	0.00800	0.00500	0.00070
Ratio encaissement	1.3	1.6	1.8	1.9	1.4	1.8
Sinuosité en 2013	0.92	0.72	0.67	1.00	0.95	0.99
Sinuosité en 1930	0.50	0.63	0.62	0.40	0.77	0.62
Caractéristiques moyennes au niveau plein bord						
Largeur (m)	16.62	15.06	16.77	15.04	14.43	11.31
Profondeur (m)	1.19	1.52	1.88	1.17	0.73	1.25
Vitesse (m/s)	1.26	1.06	0.78	0.83	1.12	0.85
Cisaillement (N/m²)	22.1	15.0	6.8	11.5	20.0	8.9

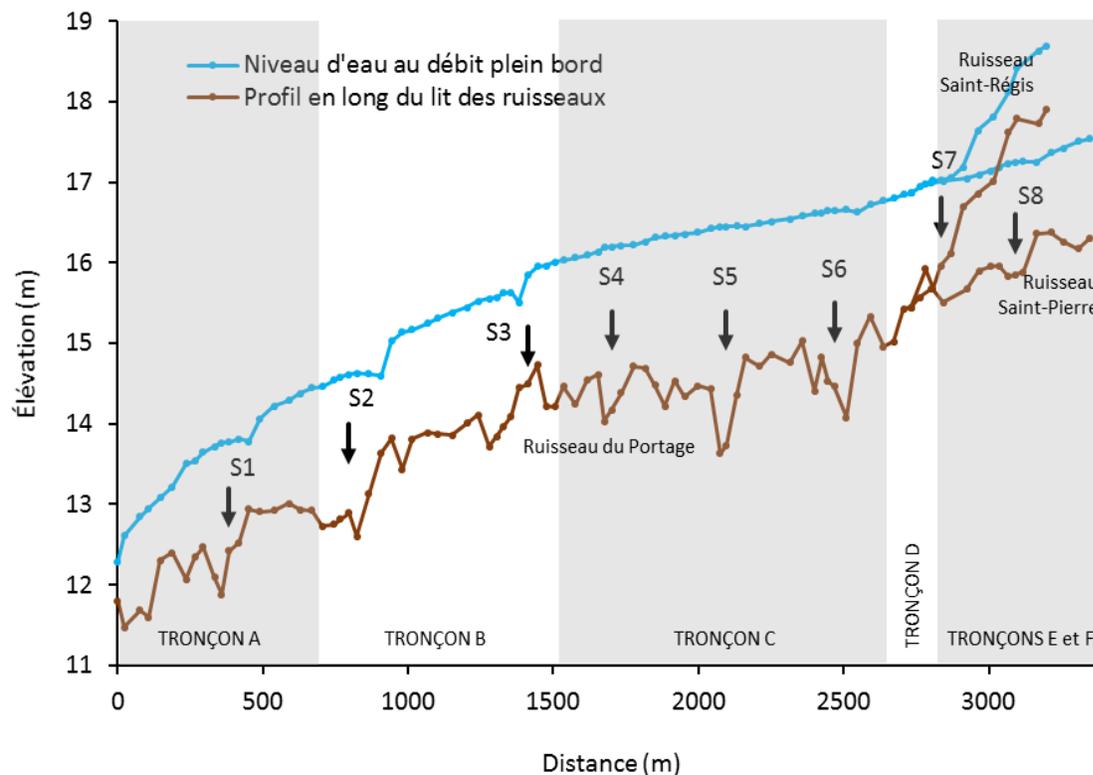


Figure 10. Profil en long de la rivière du Portage et des rivières Saint-Régis et Saint-Pierre et localisation des sections détaillées (S1 à S8) et des tronçons homogènes (A à F).

3.4 Hydrogéomorphologie des sections types

Les résultats détaillés (hydraulique, géométrie, granulométrie, conditions d'entraînement des sédiments) pour chacune des huit sections types échantillonnées sont présentés à l'annexe C. Les valeurs de géométrie et d'hydraulique sont estimées pour le débit plein bord qui constitue un indicateur des processus dominants de la morphologie observée sur le terrain.

Les sections détaillées couvrent différentes caractéristiques morphologiques de l'amont vers l'aval (Figure 10). Les sections 1 à 3, en aval de la rivière du Portage, sont dans un secteur assez rectiligne avec une pente plus forte que les sections 4 à 6 situées en amont de la rivière Portage dans un secteur plus sinueux. Les sections 7 et 8 sont localisées dans les rivières Saint-Régis et Saint-Pierre respectivement.

La coupe transversale centrale de chaque section avec les niveaux d'eau pour les débits semi-pleins bord, plein bord, et d'intervalle de récurrence 100 ans est présentée à la Figure 11. La Figure 12 présente la variation de différentes caractéristiques de géométrie, d'hydraulique et de granulométrie pour chacune des sections. La Figure 8 illustre les proportions d'argile, de limon, de sable et de gravier des échantillons du lit et des berges de chaque section détaillée. Pour l'ensemble des sections, voici les observations principales :

- Toutes les sections présentaient des signes d'érosion des berges, selon la classification faite par la firme LVM en 2012, les sections 1, 2, 4, 5, 7 et 8 avaient des berges avec érosion moyenne à élevée et les sections 4 et 5 des berges en érosion critique.
- Le ratio d'encaissement est inférieur à 2 pour l'ensemble des sections ce qui indique que le cours d'eau sort rarement de son lit et donc inciser. Ceci est confirmé par la modélisation hydraulique qui montre que le chenal peut contenir un débit d'intervalle de récurrence de 100 ans.
- La géométrie des sections alterne entre une forme trapézoïdale et une forme asymétrique dans les sections à méandres. Cette géométrie simple et l'encaissement

prononcé favorisent des vitesses et des cisaillements qui dépendent principalement de la pente de la section.

- Le lit du cours d'eau est composé essentiellement d'une couche de gravier qui repose sur une couche d'argile marine ou sur la roche en place. Cette couche de gravier est assez mince et régulièrement on peut observer l'affleurement rocheux (Figure 9) ou l'exposition de la couche d'argile comme aux sections 3, 5 et 6.
- Les berges du cours d'eau sont principalement composées de matériel fin, dominé par le sable (45 %) avec une forte teneur en limon (32 %) et en argile (23 %). En général, le matériel des berges est faiblement consolidé, particulièrement pour les sections 1 à 4.
- Le seuil critique d'entraînement des sédiments du lit oscille en 1 et 57 N/m² avec une moyenne d'environ 4 N/m². Les berges, quant à elles, ont un seuil critique d'entraînement beaucoup plus faible d'environ 2 N/m² avec un maximum à 7 N/m² pour des sédiments avec un contenu d'argile élevé selon l'équation de Smerdon et Beasley 2 (1961) alors qu'avec l'équation de Julian et Torres (2006) le seuil critique d'érosion est plus élevé, avec un minimum de 8 N/m² et une moyenne de 15 N/m² (Figure 11).

La morphologie des sections détaillées est typique des cours d'eau fortement altérés. En général, un cours d'eau non altéré déborde dans sa plaine alluviale pour des débits d'intervalles de récurrence beaucoup plus faibles (par exemple 2 ans) ce qui a pour effet de dissiper l'énergie et de diminuer le pouvoir érosif de l'écoulement. Toutefois, comme l'écoulement ne déborde pratiquement jamais dans la plaine alluviale dans le secteur à l'étude, la vitesse de l'écoulement reste élevée dans le chenal avec un pouvoir érosif accru.

L'encaissement prononcé et la présence importante de berges en érosion suggèrent que le cours d'eau est probablement dans la phase IV du modèle d'évolution présenté à la Figure 1. La phase IV suit la phase d'incision du chenal, qui semble approximativement terminée dans la rivière du Portage. En effet, une mince couche de sédiments repose sur soit la roche en place, soit une couche d'argile très résistante à l'érosion. Dans ce contexte, il est peu probable que le



cours d'eau continue de s'inciser, d'autant plus que les sédiments composant les berges sont généralement plus faciles à éroder que les sédiments du lit. La phase IV se caractérise par l'effondrement régulier des berges dû à l'instabilité créée par l'incision du lit. Les sédiments sont ensuite entraînés vers l'aval.

La résultante de ce processus est l'élargissement net de la section d'écoulement jusqu'à ce que les berges aient à nouveau une pente stable. Dans les sections à méandres, c'est la migration de la boucle de méandre qui se trouve accélérée. On observe des berges en érosion dans des secteurs atypiques, comme les berges convexes de méandres qui sont généralement en processus d'aggradation dans un cours d'eau à l'équilibre (Figure 15). La diminution de la sinuosité lors des travaux passés de redressement du chenal ne fait qu'accentuer le processus, car la pente est maintenant plus forte ce qui accélère l'écoulement et augmente l'énergie disponible pour le transport des sédiments. Les rivières du Portage, Saint-Régis et Saint-Pierre connaissent ce processus à des degrés plus ou moins importants et qui seront évalués en fonction des conditions d'écoulement à la section suivante.



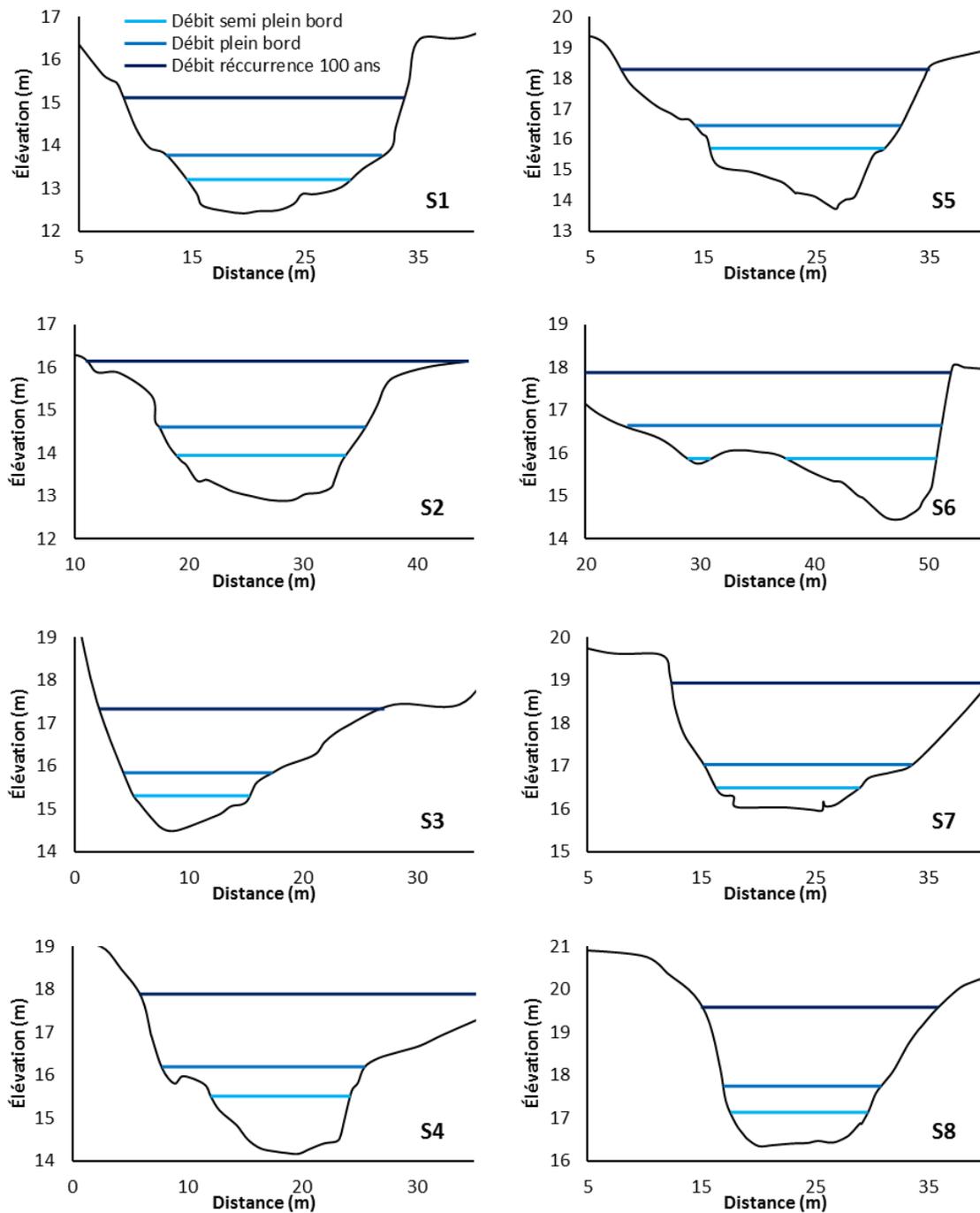


Figure 11. Coupe transversale centrale des sections types et niveaux d'eau pour des débits semi-plein bord, plein bord et d'intervalle de récurrence 100 ans. Attention, il y a une exagération verticale d'un facteur de 2 approximativement.

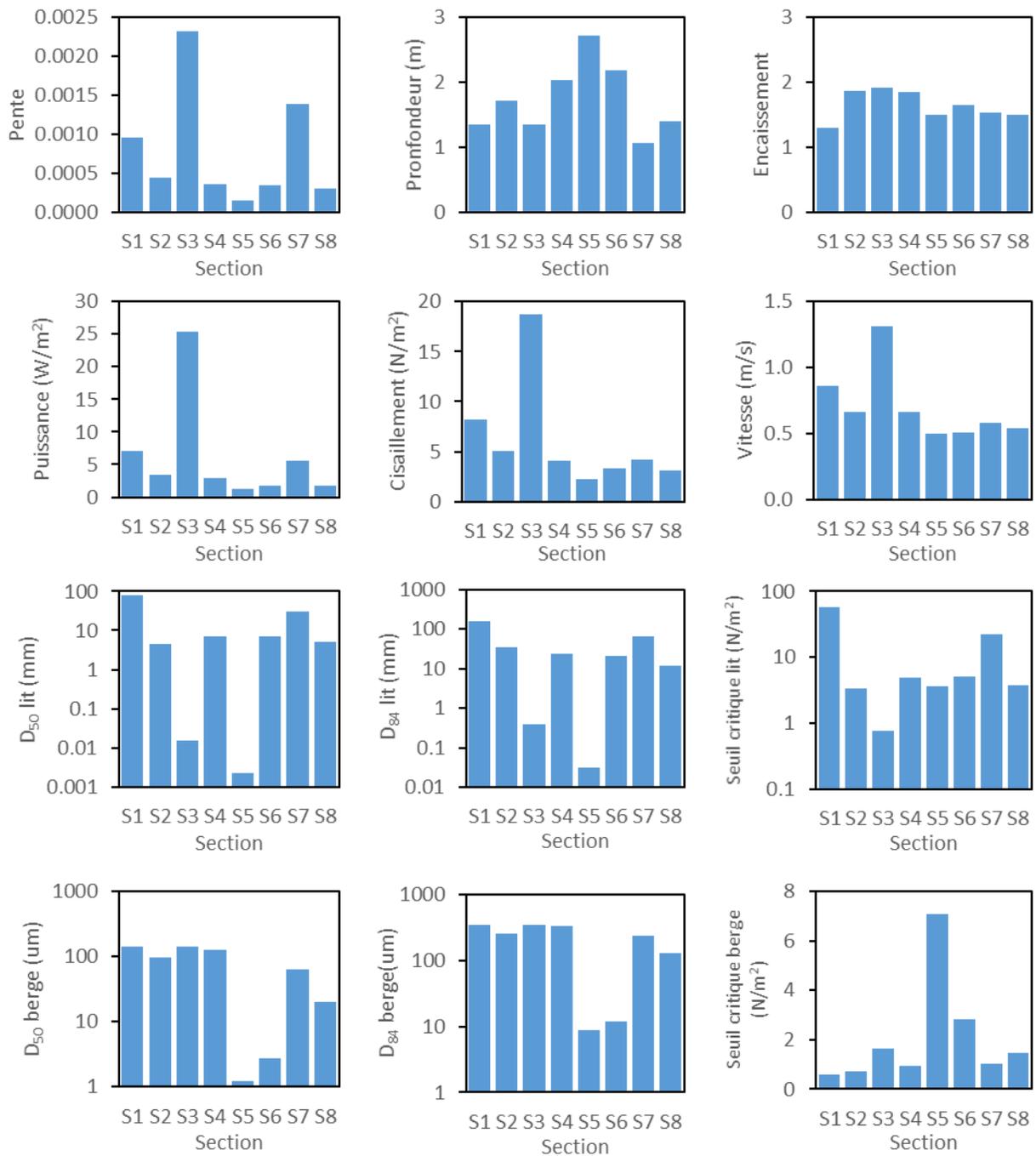


Figure 12. Variabilité des caractéristiques de chaque section type du secteur d'étude, estimée pour le débit plein bord.



Figure 13. Proportions du contenu en argile, en limon, en sable et en graviers pour les échantillons du lit (Gauche) et des berges (Droite) de chacune des sections types.

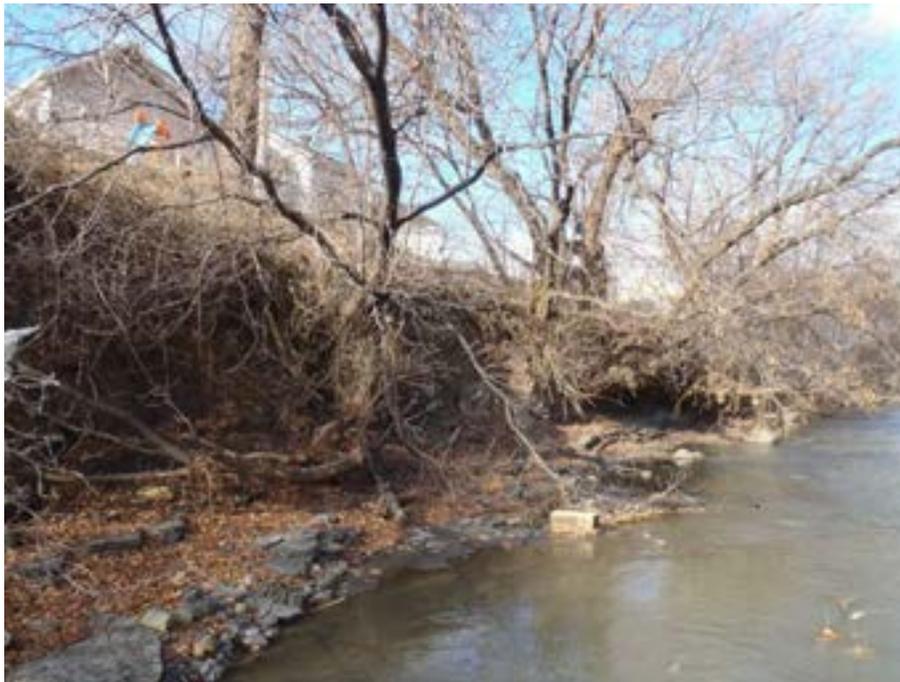


Figure 14. Exemple d’affleurement de la roche en place (schiste) sur le lit du cours d’eau.



Figure 15. Érosion dans des secteurs atypiques, la rive convexe d'un méandre. (Gauche) Aval de la section 3. (Droite) Dans la section 4.

3.6 Conditions d'entraînement critique des sédiments

Au niveau plein bord, la force de l'écoulement n'est pas suffisante pour mobiliser la taille médiane des sédiments du lit dans la plupart des sections, à l'exception des sections 2 et 3 (Figure 11). Cela signifie que les sédiments du lit sont rarement mobilisés de manière généralisée, mais que la plupart du temps seules les fractions les plus fines sont entraînées vers l'aval. La situation s'inverse quand on considère les sédiments des berges, où le cisaillement généré par un évènement de débit plein bord dépasse le seuil d'entraînement critique dans toutes les sections, sauf la section 5 où les sédiments sont plus consolidés et l'écoulement moins énergétique. Cette situation confirme que la rivière est entrée dans la phase IV (élargissement par érosion des berges) de son évolution vers un nouvel état d'équilibre. Comme les sédiments du lit sont plus difficiles à entraîner que ceux des berges, les prochains résultats ne tiennent compte que du seuil critique d'entraînement des sédiments des berges.

À ce sujet, il est important de comprendre que le terme *seuil critique d'érosion ou d'entraînement* signifie qu'il y a une initiation du transport de sédiment et donc un début d'érosion. Ainsi, l'érosion sera faible ou sévère selon l'intensité, la durée de l'évènement et les autres paramètres associés à la berge du cours d'eau (condition de saturation des sols en eau, présence de végétation, etc.).

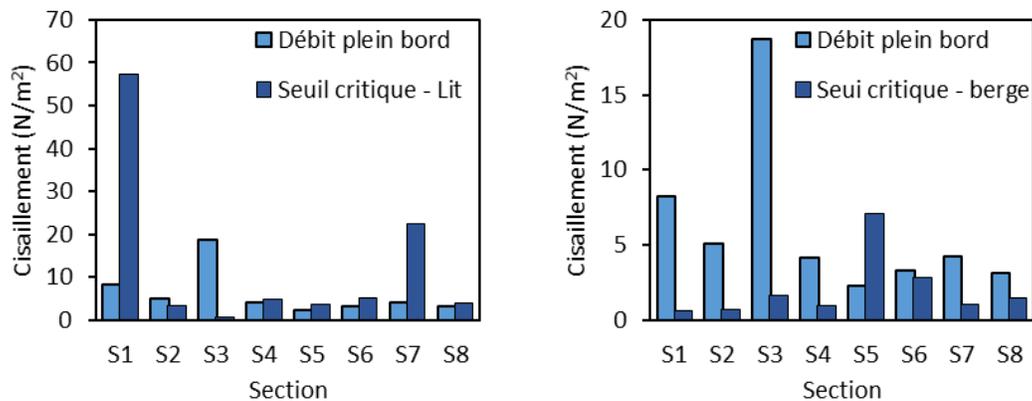


Figure 16. Comparaison du seuil d'entraînement critique des sédiments du lit (Gauche) et des berges (Droite) au cisaillement généré par le débit plein bord.

Les Figures 17 et 18 présentent la variation spatiale des conditions critiques d'entraînement. Ces cartes, combinées à la classification de l'état des berges par la firme LVM permettent de raffiner l'analyse pour mieux planifier les interventions. En effet, dans un cours d'eau à l'équilibre, on assume que les formes observées correspondent à des processus précis. Or, dans un cours en déséquilibre, comme dans le secteur à l'étude, il se peut que les formes ne soient pas encore ajustées aux processus dominants. Donc, l'analyse hydraulique permet de relativiser les catégories d'érosion soit en augmentant la priorité d'intervention soit en la diminuant. Par exemple, même si une zone n'est pas identifiée comme étant en érosion critique il se peut que les conditions hydrauliques modélisées suggèrent que la zone est à risque en raison de cisaillements élevés au débit plein bord et qu'une intervention à court terme soit nécessaire.

Pour généraliser les données de seuil critique d'entraînement des sédiments des berges obtenues suite à l'échantillonnage des sections détaillées, considérant la variabilité des résultats obtenus, un seuil minimum et un seuil maximum seront utilisés. Cette approche permet donc une analyse de sensibilité des résultats.

Comme seuil critique d'entraînement des sédiments minimum une valeur de 2 N/m^2 sera utilisée et comme seuil critique maximum une valeur de 8 N/m^2 sera utilisée. Lorsque l'écoulement dépasse le seuil minimum, cela permet d'identifier les zones sensibles à l'érosion alors que lorsque le seuil maximum n'est pas dépassé pour un écoulement donné cela permet d'identifier les zones moins sensibles à l'érosion. Cette approche donne un aperçu global des processus dans le secteur à l'étude, mais les résultats plus précis pourraient changer lors d'analyses locales plus détaillées des sédiments en place.





(Gauche) Cisaillement de l'écoulement au niveau plein bord
(Droite) Ratio du débit plein bord (QPB) où le seuil critique maximum
(8 N/m²) d'entraînement des sédiments des berges est dépassé

Légende Cisaillement QPB (N/m ²) 0 - 5 5 - 15 15 - 25 25 - 50 50 et +	Ratio QPB 0 - 0.5 0.5 - 1 1 - 2 2 - 3 3 et +	PAR JFSA Experts-conseils en ressources hydriques et en environnement	No. PAR DATE DESCRIPTION APPR.
		CLIENT MRC DE ROUSSILLON	ÉCHELLE 0 0.15 0.3 0.6 Kilomètres
PROJET Étude hydrogéomorphologique Rivière du Portage		Figure 17	
		DATE: 28 mai 2015 PROJET NO.: 1252	

Figure 17. (Gauche) Cisaillement de l'écoulement au niveau plein bord. (Droite) Ratio du débit plein bord pour le lequel le seuil critique d'entraînement maximum des sédiments des berges est dépassé.

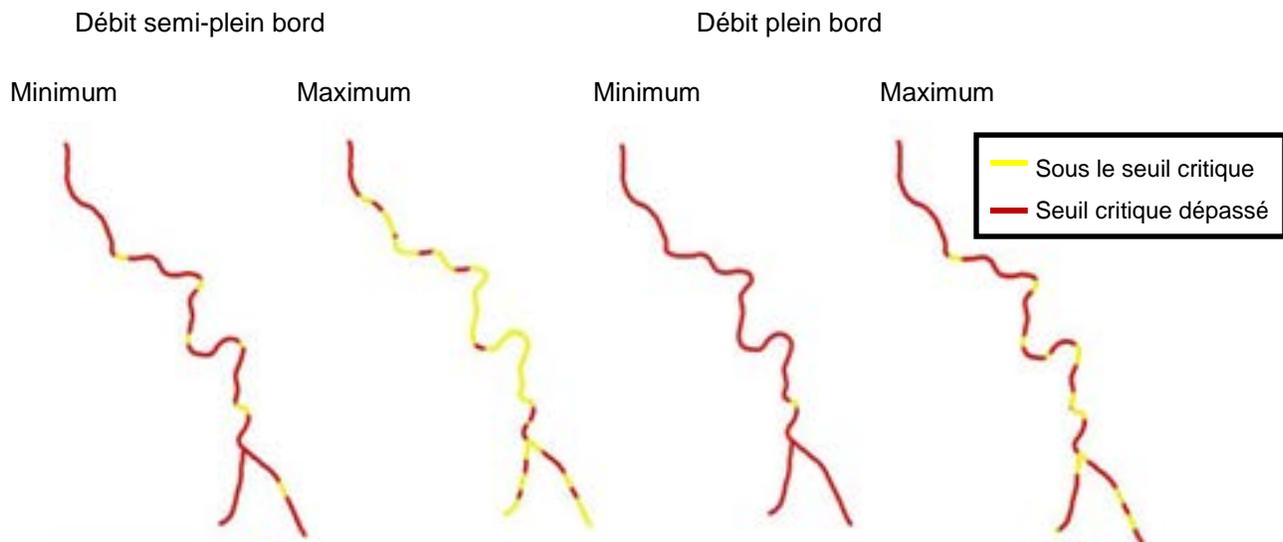


Figure 18. Dépassement des seuils critiques d'entraînement des sédiments des berges minimum (2 N/m^2) et maximum (8 N/m^2) aux niveaux semi-plein bord (deux premiers à gauche) et plein bord.

La Figure 17 présente la variabilité spatiale de la force de l'écoulement. Au niveau plein bord, le cisaillement est plus élevé dans les zones qui ont été fortement redressées, soit les tributaires, particulièrement la rivière Saint-Régis et le secteur aval de la rivière du Portage. Le cisaillement est assez élevé en aval de la confluence et correspond à un secteur étendu de berges déjà stabilisées. La Figure 17 présente la variabilité spatiale du ratio du débit plein bord pour lequel le seuil critique d'entraînement maximum est dépassé. Principalement, ce seuil est dépassé pour de petits débits fréquents, inférieurs au niveau plein bord. Ces débits compétents ont la capacité de mobiliser les sédiments des berges plusieurs fois par année et au total peuvent faire évoluer le cours d'eau de façon plus significative que les événements de forte magnitude plus rares. C'est seulement dans le secteur amont de la rivière du Portage où le seuil critique est dépassé pour des débits moins fréquents supérieurs au niveau plein bord.

La Figure 18 présente les zones du cours d'eau où les seuils critiques d'entraînement minimum et maximum sont dépassés pour les niveaux semi-plein bord et plein bord :

- Le seuil minimum est dépassé presque partout au niveau semi-plein bord et partout à l'exception d'une zone au niveau plein bord. Pour des débits de petit intervalle de récurrence, la quasi-totalité du cours d'eau est à considérer comme une zone sensible où l'érosion des berges est probable.
- Au niveau semi-plein bord, les zones où l'écoulement n'atteint pas 2 N/m^2 sont sporadiques et peu étendues. Ce sont environ les mêmes zones où le seuil critique d'entraînement maximum n'est pas dépassé au niveau plein bord. Ces zones sont principalement regroupées dans la moitié amont de la rivière du Portage, là où la sinuosité est encore marquée, et les pentes plus faibles. La plupart de ces zones correspondent à des zones classées érosion moyenne à élever ou critique dans le rapport de la firme LVM (2012). Cela signifie que l'érosion de ces zones survient principalement pour des débits supérieurs au débit plein bord.
- Finalement, le seuil critique d'entraînement maximum est dépassé aussi à plusieurs endroits au niveau semi-plein bord. Près de l'embouchure et dans les tributaires ces zones correspondent à des secteurs en érosion moyenne à élever selon le rapport de la firme LVM (2012). Ailleurs dans le cours d'eau, ces zones correspondent à des secteurs qui sont soit stabilisés, soit là où aucune érosion ou une faible érosion n'a été observée. À l'exception des secteurs stabilisés, la progression de l'érosion de ces zones devrait faire l'objet d'un suivi, car elles sont soumises à des forces élevées lors de petits débits fréquents comme le débit semi-plein bord.

3.7 Synthèse des observations et résultats

La rivière du Portage et les secteurs avals des rivières Saint-Régis et Saint-Pierre sont en transition entre deux états d'équilibre dû à une diminution de la sinuosité du tracé et des modifications des régimes hydrologiques et sédimentaires suite au développement agricole en amont et en moindre importance au développement urbain en aval. Les principales conséquences de ces changements pour les rivières du secteur d'étude sont :

- Augmentation de la fréquence des débits compétents (mobilisant des sédiments) due aux modifications hydrologiques;
- Encaissement du chenal et déconnexion de la plaine alluviale dus aux travaux de linéarisation et d'augmentation de la pente;
- Augmentation du pouvoir érosif de l'écoulement pour un débit identique en conditions pré-développement dû à l'encaissement du chenal et à l'augmentation de la pente de la rivière ;
- Érosion accélérée des berges menant à l'élargissement du chenal, exacerbée par des berges composées de sédiments plus faciles à transporter que les sédiments composant le lit.

Les rivières étudiées sont entrées dans la phase IV du modèle d'évolution d'un cours d'eau suite à des perturbations du régime hydrosédimentaire. Par conséquent, les problématiques d'érosion des berges observées sont dues aux modifications de l'occupation du sol dans le bassin versant et non à des dynamiques locales et principalement par les travaux de redressement et recouplement des méandres.

Ainsi, pour être durables et efficaces, les interventions choisies doivent prendre en compte l'ensemble du cours d'eau et de ses conditions. Des interventions localisées ne tenant pas en compte la dynamique globale du cours d'eau risquent d'être inefficaces ou d'intensifier le problème ailleurs le long du cours d'eau, tel les travaux de stabilisation des berges ayant été réalisé à la fin des années 1990 sur plusieurs segments de la rivière.



3.8 Limites de la présente expertise

L'étude de la dynamique des systèmes naturels est limitée en raison de la complexité des facteurs en cause qui ne permettent pas l'établissement de prédictions précises. Dans cette expertise, les principales limites des résultats sont liées à la modélisation hydrologique, la modélisation hydraulique et l'estimation du seuil critique d'érosion des sédiments.

Modélisation hydrologique

- Le modèle hydrologique en continu n'a pas été calibré à partir de données de terrain (hydrogramme), car il n'existe pas de mesures de débits en continu disponibles pour le secteur à l'étude. Il subsiste donc une incertitude par rapport aux résultats de l'analyse fréquentielle. Par contre, les résultats obtenus suivent la tendance des résultats de l'étude de Dessau (2007) ;

Modélisation hydraulique

- La modélisation hydraulique dans cette étude est de type 1D. La modélisation 1D a comme avantage de permettre la modélisation rapide d'un cours d'eau à l'aide d'un minimum de données. Toutefois, la modélisation hydraulique réalisée à l'aide du modèle Hec-Ras a comme hypothèse de base que l'écoulement est unidirectionnel et ne considère pas la forme des sections transversales dans l'estimation des caractéristiques hydrauliques telles que la vitesse et le cisaillement. Toutefois, des facteurs de correction provenant de la littérature scientifique ont été utilisés afin de pallier les limites de la modélisation 1D;



Estimation du seuil critique d'érosion des sédiments

- Dans cette étude, le seuil critique d'érosion des sédiments a été estimé à partir d'équations développées expérimentalement dans d'autres environnements. Si l'expérience était reproduite dans les conditions de cette étude, la relation serait probablement différente. Toutefois, les équations utilisées sont largement reconnues et ont déjà été appliquées dans plusieurs milieux.

Malgré, les éléments mentionnés ci-haut la présente expertise respecte les règles de l'art dans le cadre d'étude hydrogéomorphologique. Les limites inhérentes en regard à la qualité des résultats devront être majorées à l'aide d'un facteur de sécurité pour la réalisation de travaux correctifs ou d'expertises supplémentaires.



4 Scénarios d'aménagement

Traditionnellement au Québec, afin de résoudre les problématiques d'érosion, les berges sont stabilisées par enrochement ou par méthode dite mixte soit à l'aide d'enrochement et de végétation. Or, sur le plan local, on s'aperçoit que certains enrochements ne font que provoquer une migration de l'érosion vers l'amont ou l'aval, puisque l'énergie de l'écoulement reste inchangée. Ce type d'observation a été relevé à plusieurs endroits sur le secteur à l'étude avec les résultats que nous pouvons observer actuellement.

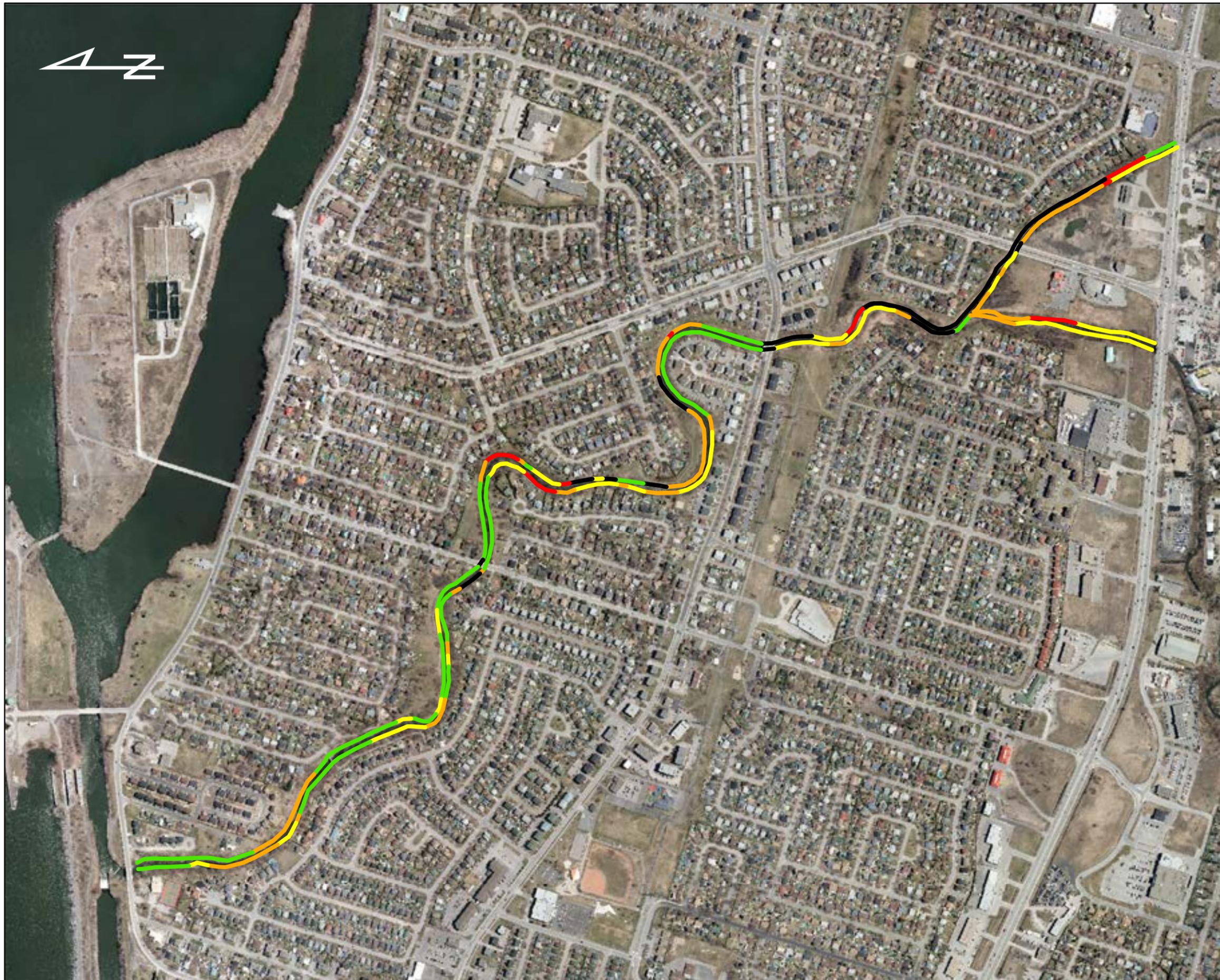
De plus, certaines rivières étant affectées sur de longs tronçons, les coûts d'enrochement deviennent prohibitifs et ne résolvent pas la problématique à la base. Dans ce contexte, l'expertise en hydrogéomorphologie est stratégique afin d'identifier et proposer des solutions permettant de résoudre ces problématiques tout en respectant la tendance morphologique et évolutive de la rivière.

4.1 Concept général d'intervention

En combinant l'analyse hydraulique avec les analyses hydrogéomorphologiques, il s'avère que l'ensemble du secteur à l'étude peut être considéré comme sensible à l'érosion à différent niveau. À ce sujet, le tableau 7 et la figure 19 illustre en synthèse les résultats de l'étude de la firme LVM (2012) par tronçon homogène.

Tableau 7. Longueurs de berges selon les classes d'érosion déterminées par la firme LVM en 2012 par tronçon homogène

	Tronçon A	Tronçon B	Tronçon C	Tronçon D	Tronçon E	Tronçon F
Type d'érosion	Longueur (m)					
Stabilisé	0	83	665	184	0	210
Aucune érosion	664	910	610	0	0	68
Érosion faible	112	386	610	103	414	149
Érosion moyenne	368	225	536	267	0	198
Érosion critique	0	167	76	0	94	106



État de l'érosion des berges du ruisseau Portage d'après le rapport de LVM (2012)

Légende

Type d'érosion

- aucune érosion
- érosion critique
- érosion moyenne
- faible érosion
- stabilisé

PAR :



CLIENT



Projet :

Étude hydrogéomorphologique Rivière du Portage

No.	PAR	DATE	DESCRIPTION	APPR.

ÉCHELLE: 0 0.075 0.15 0.3 Kilomètres

Figure 19

DESSIN REF.	CONÇU : GM	PROJET NO.
	DÉSSINÉ : GM	25 mai 2015
	VÉRIFIÉ : GM	1252
	APPROUVÉ : HL	

Figure 19 LVM



La rivière du Portage et ces tributaires sont actuellement en processus d'ajustement suite aux modifications des conditions hydrologiques et morphologiques ayant été effectuées depuis les années 60. Les conditions hydrologiques du bassin versant ont été modifiées suite au drainage des terres agricoles et les conditions morphologiques ont été affectées suite aux redressements de plusieurs méandres ainsi que l'excavation du lit d'écoulement. Ces éléments influencent l'équilibre dynamique de la rivière et accentuent les problèmes d'érosion des berges.

En l'occurrence, les concepts d'aménagement proposé ont donc comme objectif la mise en place de solutions qui respecteront les processus d'ajustement morphologique de la rivière à long terme. Comme discuté, les processus géomorphologiques dominants sont associés à l'incision du lit et l'élargissement de la section d'écoulement.

Les principaux critères guidant les concepts d'aménagement proposés sont les suivants : 1) protection au niveau des biens et de la personne 2) intégration de la dynamique hydrogéomorphologique de la rivière 3) aménagement respectant les processus d'ajustement actuel et futur de la rivière 4) stabilité à long terme de la rivière 5) amélioration de l'habitat du poisson, si applicable.

4.2 Concepts d'interventions proposés

Plusieurs méthodes d'intervention existent afin de solutionner la présence de problématique d'érosion des berges. Nous pouvons résumer ceux-ci en deux (2) grandes approches. Mentionnons qu'une approche de type hydrologique soit par exemple via la réalisation de structure hydraulique (bassin rétention, barrage, etc.) contrôlant le débit n'a pas été retenu étant donné les volumes importants nécessaires et les coûts non négligeables de ce type d'intervention. De plus, une approche laissant place à un espace de migration latérale de la rivière (espace de liberté) n'est pas retenue comme l'ensemble du tracé de la rivière sur le secteur est déjà bâti.

La première approche étant l'intervention sur l'érosion des berges, donc en s'attaquant aux conséquences des processus hydrogéomorphologiques dominants. Cette approche consiste principalement à la stabilisation des berges affectées par l'érosion à l'aide de technique d'enrochement (avec roche seulement ou roche avec végétation «mixte») et/ou de technique dite de génie végétal.

La deuxième approche étant l'intervention sur la cause associée à la problématique d'érosion des berges causée par les processus hydrogéomorphologiques dominants. Cette approche propose des solutions en lien avec le processus d'ajustement de la rivière et des causes créant la problématique d'érosion. Ce type d'approche propose des solutions afin de dissiper l'énergie de la rivière en lien avec le processus d'ajustement. Cette approche consiste principalement dans la présente situation à la modification de la géométrie transversale des sections d'écoulement et à la mise en place de structures dans la rivière (seuil, déflecteur, etc..) afin de dissiper l'énergie (diminution des vitesses et contrainte de cisaillement «shear stress»). De plus, en présence d'une rivière dégradée, tel que la rivière St-Pierre, ce type d'approche permet d'approcher l'état d'équilibre de la rivière.

Dans le cadre de la présente expertise ces deux concepts seront utilisés, mais le dernier sera privilégié lorsque possible.

4.3 Solutions types d'intervention

En fonction des résultats et de la configuration spatiale du secteur à l'étude, nous avons divisé le secteur à l'étude en huit (8) zones d'interventions pour lesquelles des interventions types seront proposées à l'échelle du segment de rivière. Les solutions d'interventions types A à F illustrent chacune des solutions d'interventions préconisées.

Le tableau 8 présente, pour chaque secteur d'intervention : les problématiques en cause, la classification de l'érosion selon LVM et la ville de Sainte-Catherine, la longueur linéaire et le type d'intervention proposée ainsi que quelques remarques générales. Une priorité des interventions dans le temps est également identifiée.

Tableau 8.....



Certains segments des zones sont jugés prioritaires et une intervention devra être réalisée dans un court horizon (moins d'un an). Le résiduel des interventions est jugé moyen terme, c'est-à-dire de 2 à 4 ans.

4.3.1 Solutions types

Voici une description sommaire des différentes solutions types, avec les principaux avantages et inconvénients. Des détails supplémentaires sur les interventions types peuvent être trouvés dans les documents du Federal Interagency Stream Restoration Working Group (1998) de Yang (2006) et du Stream Simulation Working Group (2008).

Solution type A (modification de la géométrie) :

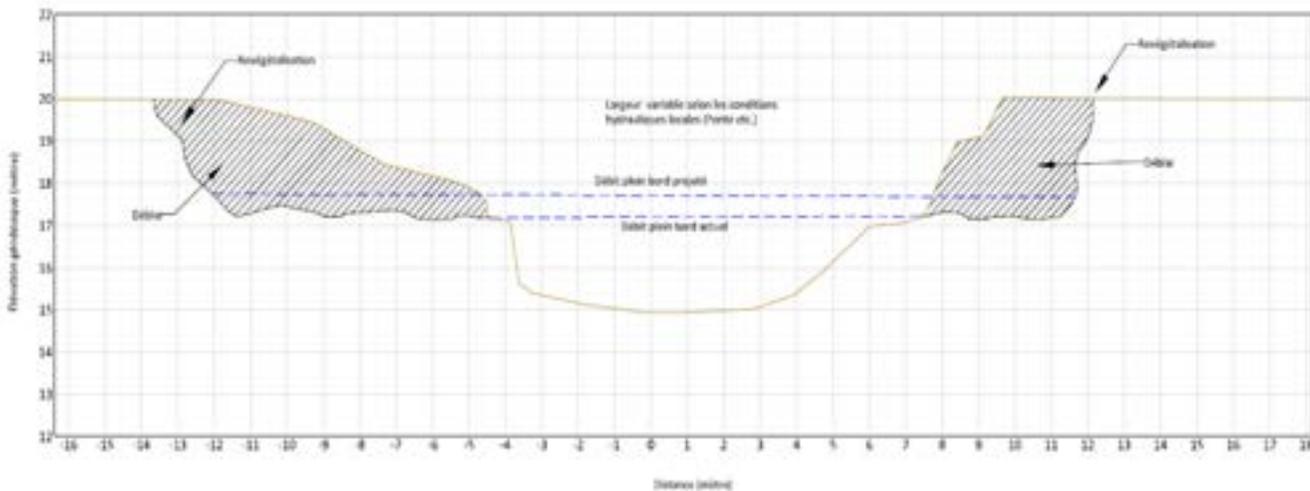
Cette solution consiste principalement à la modification de la géométrie transversale de la section d'écoulement (Figure 20). La section d'écoulement est modifiée et élargie afin de dissiper les contraintes de cisaillement « *shear stress* » sous les seuils critiques d'érosion et crée une plaine de débordement. La section d'écoulement est basée sur un profil transversal respectant la géométrie hydraulique d'une rivière stable. Selon nos calculs et validations préliminaires, la largeur à niveau plein bord (+/- 1.5 an) pour la rivière St-Pierre serait entre 18 m et 21 m (+/- 15 mètres actuellement) et entre 15 m et 18 m (+/- 12 mètres actuellement) pour le ruisseau St-Régis. Ces dimensions sont variables selon la pente et/ou autres aménagements planifiés (ex : seuils) dans le segment. La conception de la géométrie doit être validée localement à l'aide de calculs hydrauliques. Cette solution type peut être mise en place également avec la solution type D selon le contexte local.

Avantages : Ce type d'intervention permet de naturaliser une section de cours d'eau fortement altérée et incisée en éliminant les causes de l'érosion des berges et du lit. La nouvelle coupe transversale recrée une plaine inondable à l'intérieur du chenal ce qui permet d'augmenter la qualité de l'habitat. De plus, les berges sont moins à risque d'érosion, car l'énergie des crues de niveau plein bord est dissipée par rapport à la situation initiale. Globalement, cette approche



permet de prendre de l'avance sur l'évolution du chenal et de promouvoir l'équilibre du cours d'eau à long terme. Finalement, un avantage certain de cette intervention est son faible coût, car aucun matériau ne doit être ajouté.

Inconvénients : Le principal inconvénient de cette solution est le besoin d'espace de part et d'autre du chenal pour sa réalisation. Si les habitations construites sont trop près, il sera difficile d'élargir la section d'écoulement. Toutefois, ce type de solution peut être adaptée si de l'espace est disponible sur une seule rive. Un autre inconvénient est la perte de la végétation existante sur la bande riveraine qui devra être remplacée.



Solution type B (déflecteur) :

Cette solution type consiste à la mise en place de déflecteurs dans le lit de la rivière afin de dissiper l'énergie du courant vers la rive opposée (Figures 21, 22 et 23). La mise en place de déflecteur se réalise dans les segments où l'on note la présence d'érosion dans la rive concave d'un méandre. La mise en place de déflecteur est efficace lorsque l'indice de tortuosité est supérieur à 3. Lorsque la géométrie du méandre est trop prononcée, ce type d'aménagement crée des zones de recirculation trop intense pouvant créer des problématiques d'érosion locale des berges. Ce type d'aménagement doit être réalisé en complément à des travaux de reprofilage et de stabilisation de la berge. La conception de ce type d'aménagement (hauteur, largeur, espace entre les déflecteurs, taille des roches, etc.) doit être à l'aide de modélisation hydraulique 1D et/ou 2D.

Avantages : Les avantages des déflecteurs, notamment par rapport aux stabilisations de berges traditionnelles, sont de nécessiter moins de matériaux et d'être moins invasifs sur la rive tout en couvrant de plus grandes distances à moindres coûts. Ces aménagements permettent de dissiper de l'énergie ce qui ralentit l'écoulement et diverger l'écoulement vers la rive opposée. Ils permettent de diversifier la structure de l'écoulement ce qui crée des fosses pour l'habitat du poisson. Ils peuvent être utilisés lorsque l'espace de part et d'autre est restreint et qu'il est difficile de diminuer la pente des berges.

Inconvénients : Le principal inconvénient des déflecteurs est leur interférence lors de la débâcle des glaces ou de transport de débris de bois mort qui peuvent causer des embâcles localisés et ainsi augmenter les niveaux d'eau. Pour éviter cet inconvénient, des études ou la connaissance sur la dynamique des glaces préalable à l'installation des déflecteurs sont nécessaires afin d'ajuster les dimensions et la localisation des structures en conséquence sur le terrain.

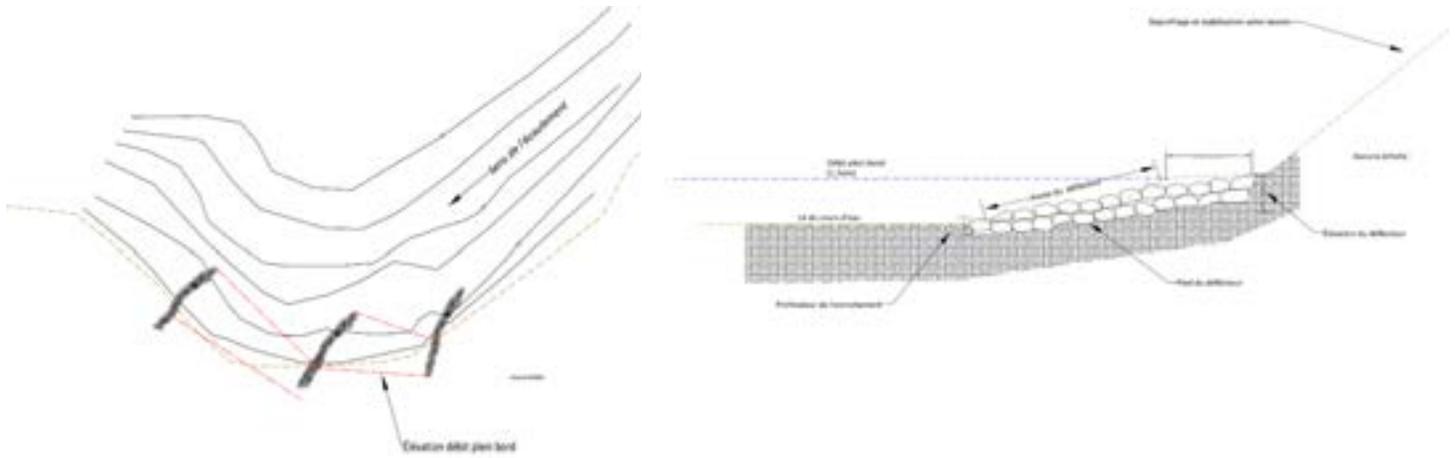


Figure 21. Solution type B. Mise en place de déflecteur vue en plan et en coupe.



Figure 22. Déflecteur en période d'étéage. Vue de l'aval

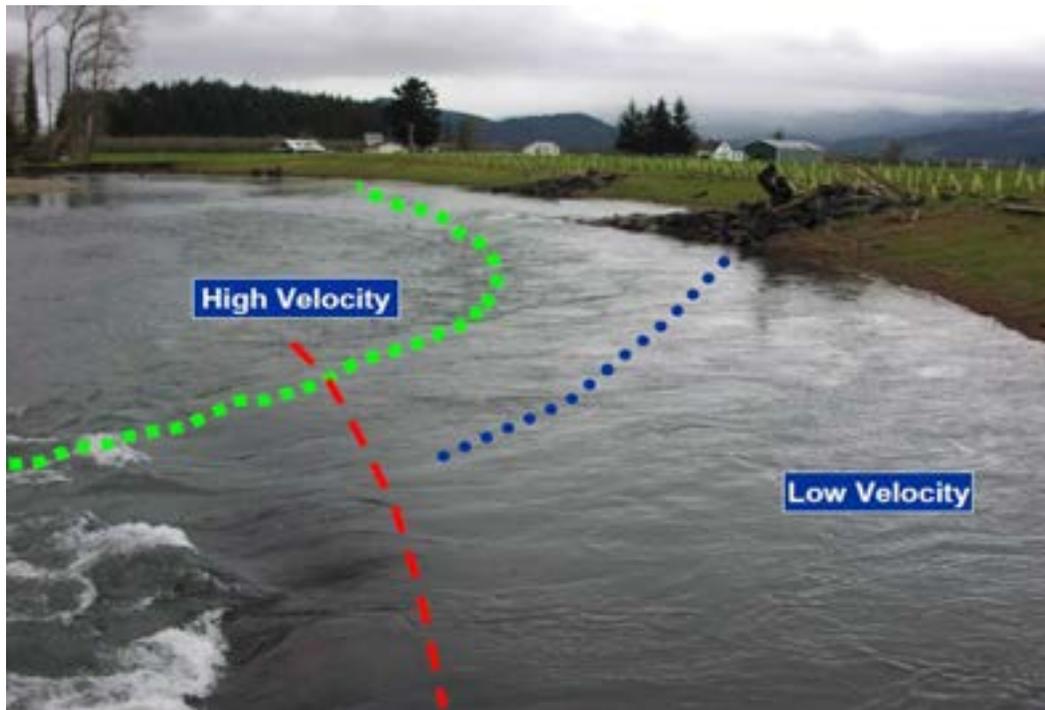


Figure 23. Déflecteur en période de crue. Vue de l'amont

Solution type C (seuil ou aménagement analogue) :

Cette solution type consiste à la mise en place de structures dans le lit de la rivière sous forme de seuil ou d'aménagement analogue (Figure 24 et 25). La mise en place de seuil se réalise dans les segments où l'on note la présence d'un gradient hydraulique élevé (forte pente). Ce type d'aménagement est principalement souhaitable dans les segments de la rivière où celle-ci a été linéarisée et/ou un recouplement des méandres a eu lieu. La mise en place de ce type d'aménagement a comme objectif de diminuer le gradient hydraulique et ainsi réduire les vitesses et les contraintes de cisaillement « *shear stress* » au lit et en berge. Ce type d'aménagement est fortement recommandé et permettrait de résoudre la problématique d'incision du lit et favoriser la sédimentation. Cet aménagement doit être réalisé au besoin en complément à des travaux de reprofilage et de stabilisation de la berge.

La conception de ce type d'aménagement pourra utiliser la présence de seuil existant en les bonifiant et/ou modifiant. Selon nos validations préliminaires un seuil à chaque +/- 85 mètres (hypothèse de 6 fois la largeur plein bord) pourraient être nécessaire dans les segments d'interventions nécessitant ce type de solution. La conception de ce type d'aménagement (hauteur, distance, taille des roches, etc.) doit se faire à l'aide de modélisation hydraulique 1D et/ou 2D. Mentionnons qu'il existe plusieurs types de seuils (*cross vane*, *J-hook* etc.) pouvant être réalisés selon le contexte hydraulique local.

Avantages : Les seuils en série permettent de rétablir la pente d'équilibre du cours en réduisant la pente et donc par incidence les forces de cisaillement. Cette solution est à prioriser dans les cours d'eau qui sont fortement perturbés et en érosion. Ainsi, pour un écoulement de magnitude égale, il y aura une réduction de l'érosion des berges et du lit après la mise en place des seuils. En complexifiant le profil longitudinal, les seuils peuvent aussi être une opportunité de diversifier l'habitat aquatique. Les seuils permettent d'intervenir sur de très longues sections, à moindres coûts en comparaison des solutions traditionnelles de stabilisation de berges. Ils ne nécessitent pas, ou très peu, de couper la végétation en place (mis à part pour les accès à la machinerie).

Inconvénients : Les seuils peuvent favoriser l'augmentation du niveau d'eau en raison de la constriction de l'écoulement qu'ils provoquent. Pour éviter ce risque, une modélisation hydraulique doit accompagner la conception de la structure. Tout comme les déflecteurs, les seuils peuvent favoriser la création d'embâcles et des études plus approfondies doivent être menées avant la mise en place des structures. Finalement, les seuils peuvent devenir des barrières pour les poissons à bas niveau d'eau (période d'étiage) si la conception n'est pas adéquate. Il reste tout à fait possible de concevoir des seuils qui permettent le passage des poissons en période d'étiage.

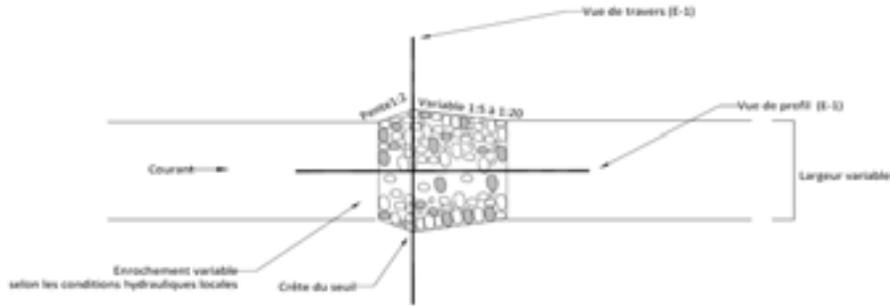


Figure 24. Exemple de seuil dans la Forêt Nationale de Willamette (Washington, É-U) (Stream Simulation working group, 2008).

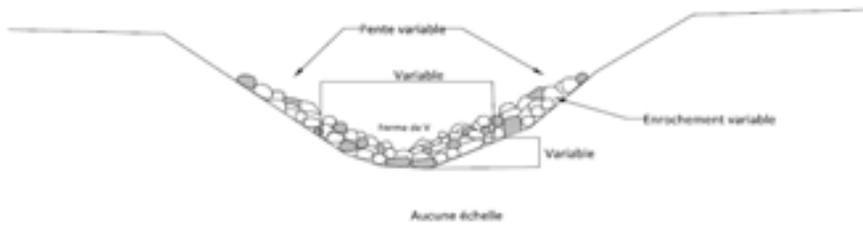


Figure 25. Exemple de seuil de type Newbury

E-1 Structure de seuil-mouille de type Newbury (Vue de plan)



E-1 Structure de seuil-mouille (Vue typique de travers)



E-1 Structure de seuil-mouille (Vue typique de profil)



Figure 25. Plan concept d'un seuil de type Newbury



Solution type D (stabilisation des berges avec déblais) :

Cette solution type consiste à une légère modification de la géométrie des berges associées à des travaux de stabilisation des berges à l'aide de méthode dite mixte (enrochement et végétaux) jusqu'à la limite du débit plein bord (1.5 ans) et d'un reprofilage (Figure 26). Lors de ces travaux, des travaux de déblais seront nécessaires et certains arbres devront être coupés.

Au-dessus du niveau plein bord, une revégétalisation à l'aide d'arbustes et/ ou de matelas de branches, est souhaitable selon les vitesses, contraintes de cisaillement et processus glaciels. La conception de ce type d'aménagement (géométrie, taille de l'enrochement, type de végétation, etc.) doit être validée à l'aide de calculs hydrauliques.

Avantages : La stabilisation de berges avec déblai permet de résoudre des problématiques d'érosion locales. Lorsque l'espace est disponible, cette technique permet d'élargir la section d'écoulement, un peu à la façon de la solution de type A et donc de réduire la force de l'écoulement pour des débits de forte magnitude tout en protégeant le bas de la berge pour les débits de récurrence élevée (plein bord et semi-plein-bord).

Inconvénients : Le déblai de la berge nécessite la perte de végétation existante qui devra être remplacée. De plus, la stabilisation locale, utilisée seule peut ne pas résoudre un problème d'érosion généralisé dans un cours d'eau, comme c'est le cas dans cette étude. Pour ne pas déplacer le problème d'érosion en amont ou en aval de la structure, il est nécessaire de faire une étude hydraulique qui prend en compte un tronçon plus grand que le tronçon à stabiliser afin de localiser adéquatement le secteur à stabiliser et de possiblement combiner d'autres techniques telles que proposées dans la présente expertise.

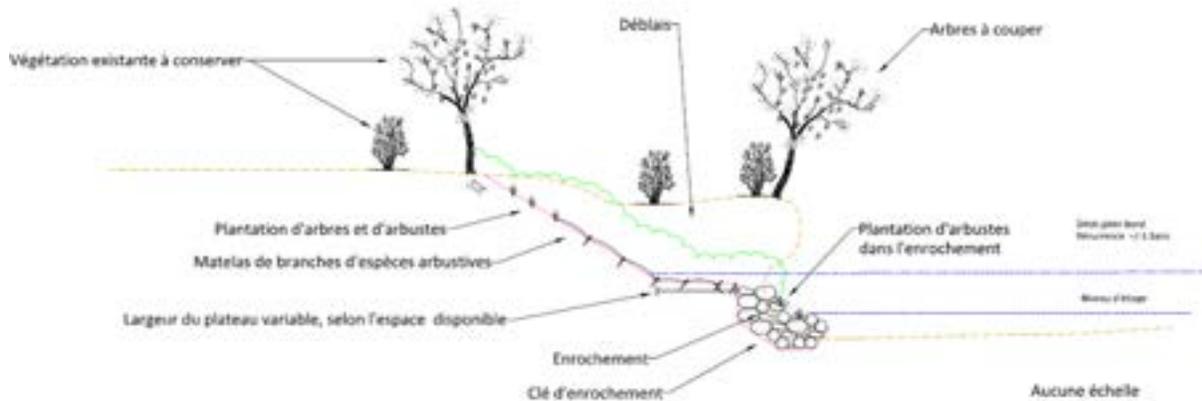


Figure 26. Solution type D. Stabilisation des berges avec méthodes mixtes en déblai.

Solution type E (stabilisation des berges avec remblai) :

Cette solution type consiste à la même approche que la solution type D, cependant celle-ci nécessite des travaux de remblai (Figure 27). Ces travaux de remblai sont nécessaires par la présence d'infrastructure (piscine, remise, clôture, etc.) à proximité. La conception de ce type d'aménagement (géométrie, taille de l'engrènement, type de végétation, etc.) doit être validée à l'aide de calcul hydraulique.

Avantages : La stabilisation de berges avec remblais permet de protéger des infrastructures localisées sur le talus et qui sont à risque de s'effondrer. C'est une solution essentiellement locale qui permet d'intervenir rapidement.

Inconvénients : Tout comme la stabilisation avec déblai, cette technique ne s'attaque pas aux causes de l'érosion, mais seulement aux conséquences et peut déplacer le problème d'érosion si elle est mal planifiée ou utilisée sans autres techniques. Cette intervention peut même réduire la largeur de la section ce qui augmente les forces de cisaillement de l'écoulement. Les

matériaux utilisés et la végétation implantée doivent être suffisamment rugueux pour dissiper de l'énergie pour compenser le rétrécissement de la section. Le remblai de la berge nécessite la perte de végétation existante qui devra être remplacée.

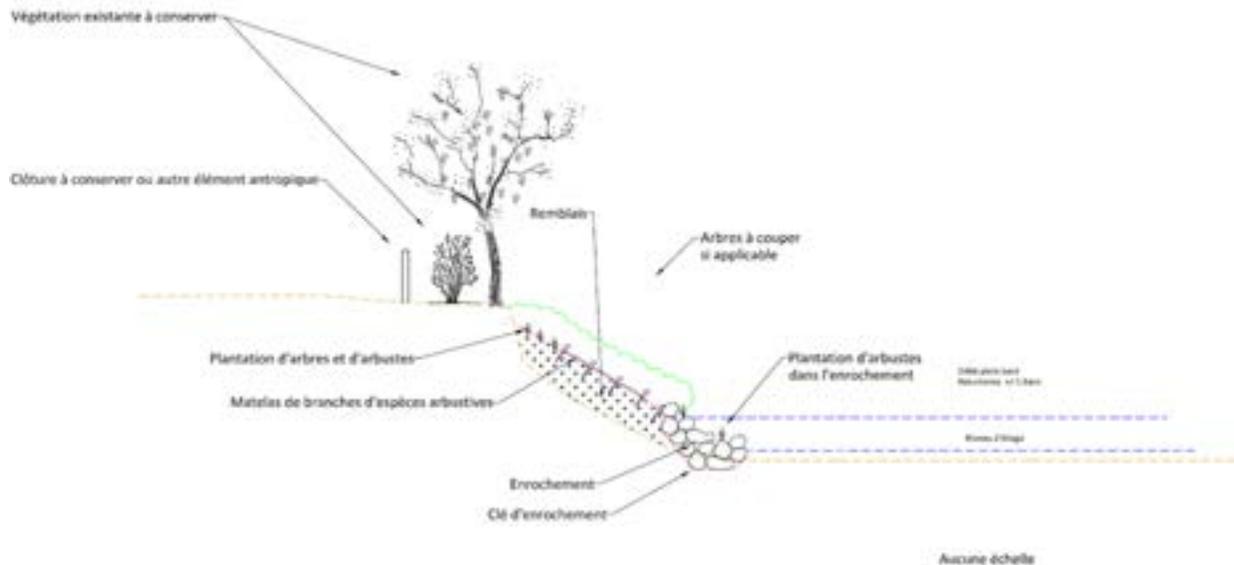


Figure 27. Solution type E. Stabilisation des berges avec méthodes mixtes en remblai.

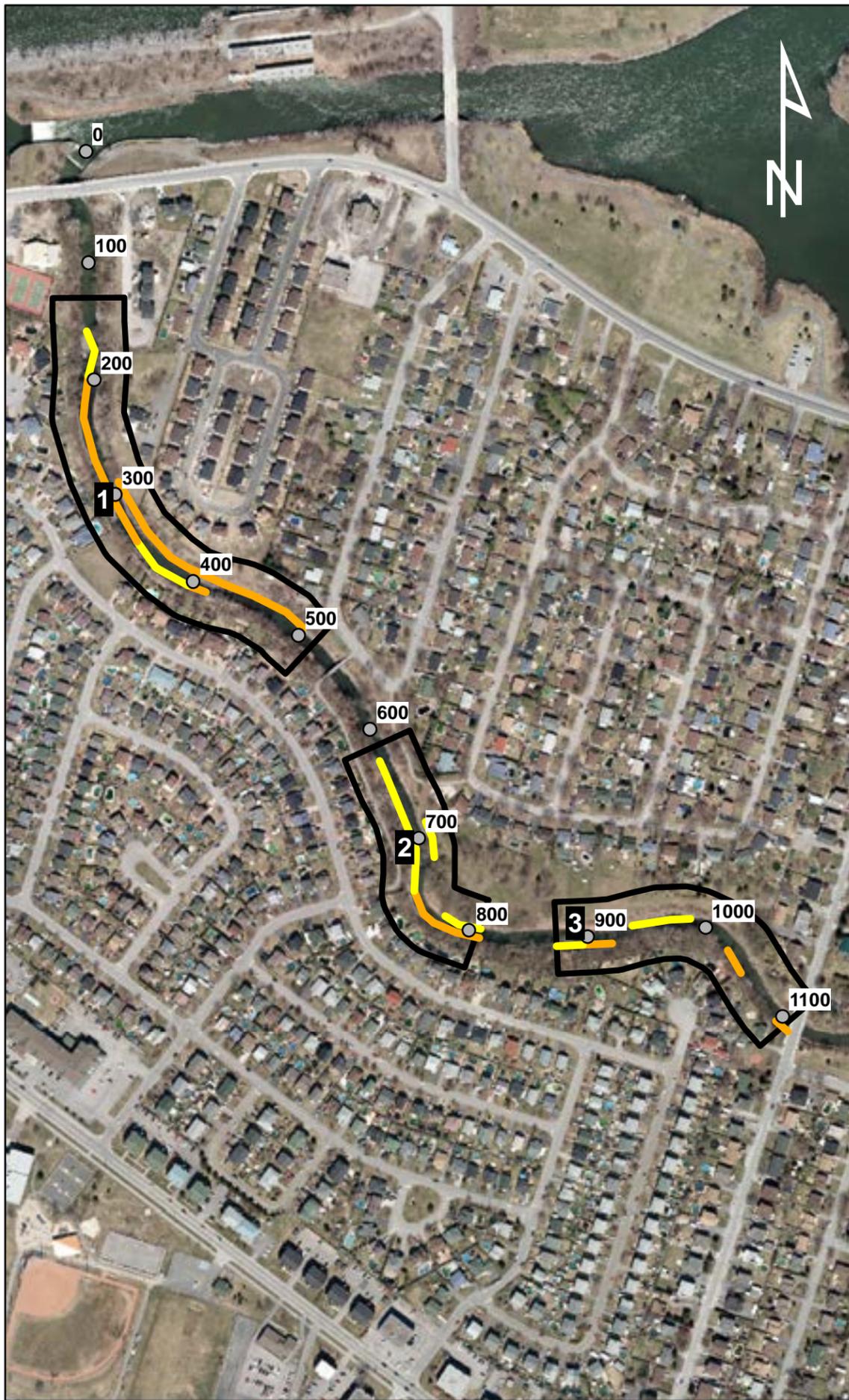
Solution type F (problématique particulière) :

Cette solution type consiste à la mise en place de solution technique lors de l'identification d'une problématique au niveau de la mécanique des sols et de la géotechnique. Ces solutions techniques devront être validées au cas par cas par un consultant spécialisé en géotechnique. Les problématiques peuvent être associées, par exemple, à la présence d'important talus, fissures, proximités des infrastructures, etc.

4.3.2 Description des secteurs d'interventions

Le Tableau 8 présente les secteurs d'interventions et les solutions types à y appliquer. À ce sujet, les propositions d'intervention sont présentées à l'échelle du segment du cours d'eau. Cette section vise à préciser l'information contenue dans le tableau. Les huit secteurs d'intervention sont numérotés en ordre croissant, de l'aval vers l'amont (Figure 28 à 30). Dans presque tous les secteurs, nous observons des processus d'élargissement et de migration des rives concaves à l'intérieur des méandres. Dans les deux tributaires, nous observons en plus une incision du lit. Les secteurs 4, 5 et 6 contiennent des berges faisant l'objet d'une priorité d'intervention pour la ville de Saint-Catherine en raison de demandes d'intervention des citoyens et d'érosion jugée critique par l'entreprise LVM. Dans l'ensemble, les interventions préconisées sont les solutions A à D, soient le changement de géométrie, la mise en place de seuils, l'aménagement de déflecteurs ainsi que la stabilisation de berges avec déblai. Ces aménagements visent à résoudre (avec des degrés divers selon les échelles d'intervention) la cause de l'érosion. Avant de décrire chacun secteur, voici quelques idées générales en lien avec les interventions :

- Les déflecteurs ne sont pas conseillés dans les secteurs 7 et 8, qui sont en fait les deux tributaires, car la sinuosité est pratiquement nulle.
- L'installation de seuils est préconisée dans sept (7) des huit (8) secteurs, mais serait notamment utile dans les secteurs 1, 7 et 8, là où la pente est plus forte. Dans les autres secteurs, les seuils pourraient être utiles, mais devraient être réfléchis et conçus de manière globale et non par secteur.
- La stabilisation de berge avec remblai est recommandée uniquement dans le secteur 4, car c'est le seul endroit où l'espace en rive est insuffisant pour utiliser la stabilisation de berges avec déblai.



Berges en érosion selon la classification de LVM (2012) et priorité d'intervention selon la Ville de Sainte-Catherine

Légende

Type d'érosion

- érosion critique
- érosion moyenne
- faible érosion

Priorité

- Non prioritaire
- Prioritaire
- Urgent
- Chainage (PK)
- ▭ Secteurs d'interventions

PAR



CLIENT



PROJET

Étude hydrogéomorphologique Rivière du Portage

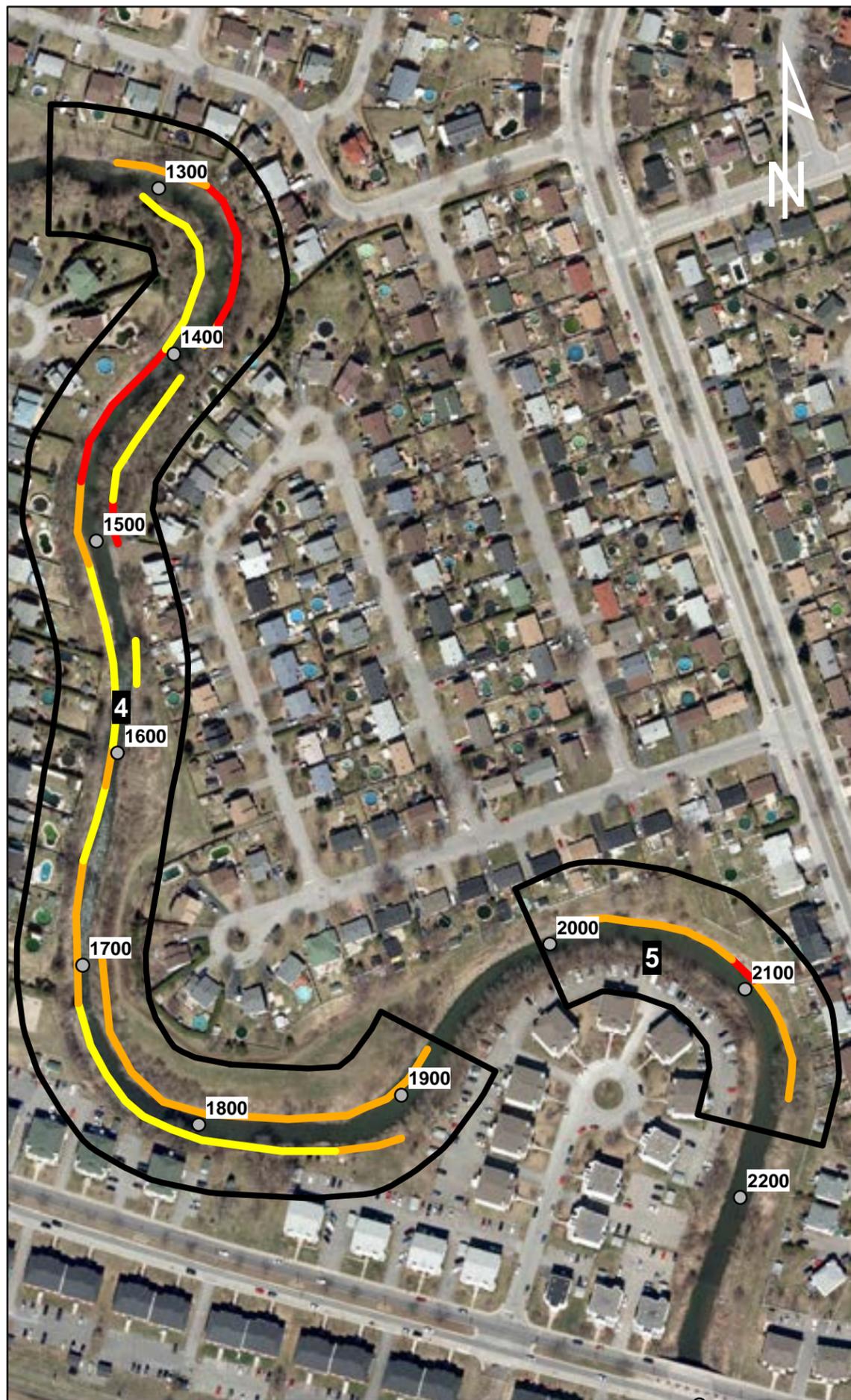
No.	PAR	DATE	DESCRIPTION	APPR.

ÉCHELLE: 0 0.05 0.1 0.2 Kilomètres

Figure 28

DESSIN REF.

CONÇU : GM	
DÉSSINÉ : GM	
VÉRIFIÉ : GM	
APPROUVÉ : HL	
DATE	PROJET NO.
25 mai 2015	1252



Berges en érosion selon la classification de LVM (2012) et priorité d'intervention selon la Ville de Sainte-Catherine

Légende

Type d'érosion

- érosion critique
- érosion moyenne
- faible érosion

Priorité

- Non prioritaire
- Prioritaire
- Urgent
- Chainage (PK)
- ▭ Secteurs d'interventions

PAR



CLIENT



PROJET

Étude hydrogéomorphologique Rivière du Portage

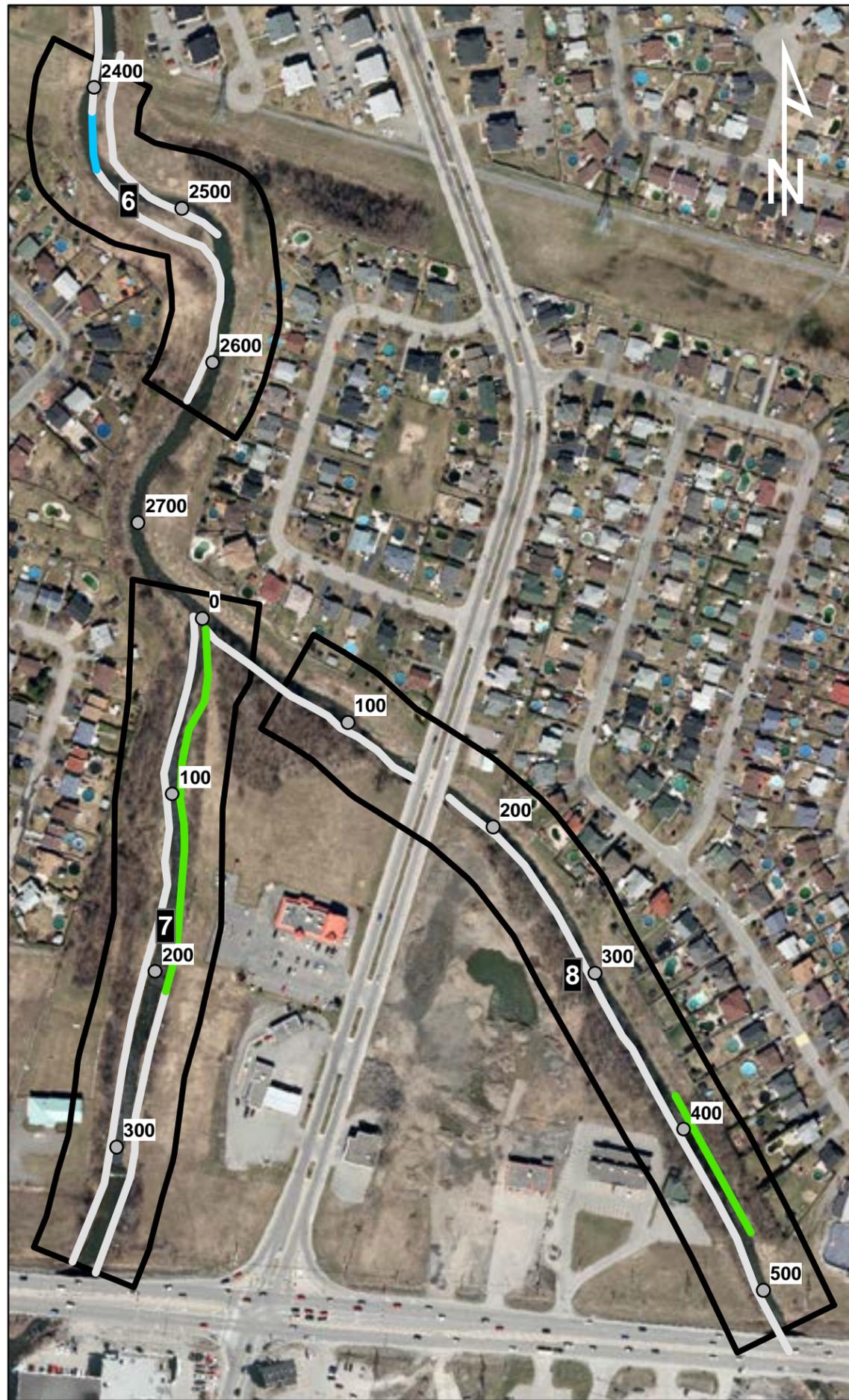
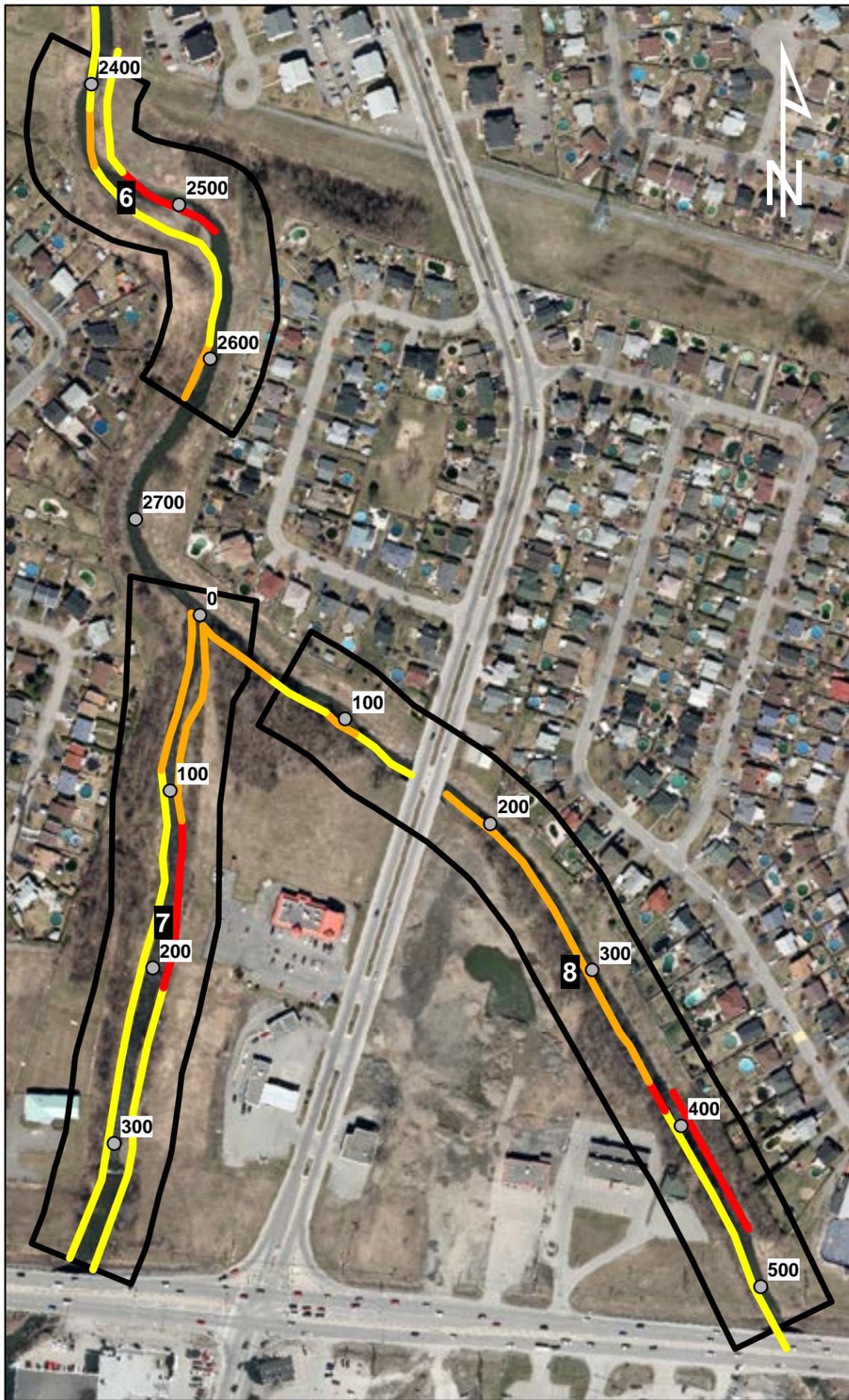
No.	PAR	DATE	DESCRIPTION	APPR.

ÉCHELLE: 0 0.025 0.05 0.1 Kilomètres

Figure 29

DESSIN REF.	DATE	PROJET NO.
	25 mai 2015	1252

CONÇU : GM
DÉSSINÉ : GM
VÉRIFIÉ : GM
APPROUVÉ : HL



Berges en érosion selon la classification de LVM (2012) et priorité d'intervention selon la Ville de Sainte-Catherine

Légende

Type d'érosion

- érosion critique
- érosion moyenne
- faible érosion

Priorité

- Non prioritaire
- Prioritaire
- Urgent
- Chainage (PK)
- ▭ Secteurs d'interventions

PAR



CLIENT



PROJET

Étude hydrogéomorphologique Rivière du Portage

No.	PAR	DATE	DESCRIPTION	APPR.

ÉCHELLE: 0 0.025 0.05 0.1 Kilomètres

Figure 30

DESSIN REF.

CONÇU : GM	
DÉSSINÉ : GM	
VÉRIFIÉ : GM	
APPROUVÉ : HL	
DATE	PROJET NO.
25 mai 2015	1252

Fig 28 à 30



- La solution de type F (problématique particulière) devra être appliquée dans le secteur 5 uniquement.
- Chacune des solutions et des exemples pouvant être appliqués sont présentés ici sous forme de concepts; les détails finaux de conception peuvent ainsi varier lors des études plus poussées permettant l'élaboration des plans et devis qui seront produits dans les suites de ce rapport.

Secteur 1 : Le secteur 1 a été fortement linéarisé par des travaux de redressement et les conséquences sur l'hydraulique sont majeures. Bien que seulement 29 % de ce secteur est en érosion moyenne et qu'on n'y observe aucune érosion critique, tout le secteur est à risque et l'installation de seuils y serait judicieusement pertinent, en plus de l'utilisation de déflecteurs en berge concave ainsi que des changements de géométrie locale au besoin. Quelques stabilisations avec déblai seraient utiles en rive gauche pour protéger certains terrains privés.

Secteur 2 : Les interventions dans le secteur 2 sont similaires aux interventions dans le secteur 1, mais beaucoup moins intensives, car le secteur est moins dégradé. On observe que seulement 18 % des berges sont en érosion. Cette érosion est principalement concentrée sur la berge concave du méandre où l'installation de déflecteur permettrait de dévier l'écoulement et atténuer significativement l'érosion. Ce secteur offre aussi une opportunité de modification de la géométrie et la mise en place de seuils.

Secteur 3 : L'érosion dans le secteur 3 est ponctuelle et de faible amplitude. On y trouve un bel exemple où l'érosion de berge s'est propagée en amont et en aval d'une stabilisation de berges. Ici, les interventions les plus utiles seront des changements de géométrie et des stabilisations avec déblais. Les déflecteurs pourraient être utilisés dans la berge concave du méandre du secteur. La mise en place de seuils serait également intéressante afin de diminuer le profil hydraulique.



Secteur 4 : Ce secteur est celui qui a besoin du plus grand nombre d'interventions jugées prioritaires par la ville. Ce secteur possède plusieurs segments dont le lit est déconnecté de la plaine alluviale par la présence d'incision du lit. Plusieurs terrains privés y sont menacés par l'érosion, principalement à l'aval du secteur. Les interventions idéales seraient une combinaison d'un changement de géométrie en rive droite pour rediriger l'écoulement et en diminuer les contraintes de cisaillement, combiné à des stabilisations avec remblai en rive gauche pour protéger les biens privés. La mise en place de seuils serait également intéressante afin de diminuer le profil hydraulique. L'utilisation de déflecteurs pourrait être utile en amont du secteur.

Secteur 5 : La berge concave de ce secteur comporte des problèmes de reptation et de fissures; la solution devra donc faire appel à une expertise en géotechnique.

Secteur 6 : Ce secteur comporte de nombreuses zones d'érosion et un secteur de 165 m d'intervention prioritaire. Il serait possible d'appliquer uniquement de la stabilisation avec déblai au segment prioritaire. Toutefois, il serait plus durable d'y combiner à l'amont un déflecteur et un changement de géométrie afin de reconfigurer la direction de l'écoulement qui attaque directement la berge en question. Ces aménagements supplémentaires auraient comme bénéfice de diminuer l'érosion générale observée dans la section, même si celle-ci n'est pas encore problématique.

Secteur 7 : L'installation de seuil est nécessaire dans ce secteur pour diminuer la vitesse de l'écoulement, mais aussi pour freiner l'incision du lit. Le changement de géométrie, en élargissant le chenal et en permettant à l'écoulement de se dissiper, minimiserait les interventions en stabilisation. Ces deux (2) types d'interventions devront être réalisés de pairs.

Secteur 8 : Les interventions préconisées pour ce secteur sont similaires à celles du secteur 7, mais seront moins nombreuses, principalement en raison de la pente plus faible du tronçon.

4.4 Validation des concepts d'aménagement

Une validation théorique des concepts d'aménagement proposés a été réalisée sur deux (2) segments du secteur à l'étude. Cette validation avait comme objectif de quantifier l'impact hydraulique et hydrogéomorphologique des concepts d'aménagement proposés. Afin de valider l'impact, une comparaison des valeurs de contraintes de cisaillement moyenne a été réalisée à l'aide du logiciel de modélisation hydraulique 1D, Hec-Ras. Le débit utilisé pour la validation est le débit plein bord (DPB).

Les validations ont été réalisées sur un segment de 190 mètres du ruisseau St-Régis (PK 35 À 225) et sur un segment de 175 mètres de la rivière Portage (PK 600 À 775). Les concepts d'aménagement suivants ont été validés :

- 1) Ruisseau St-Régis : ajout de trois (3) seuils de 0.40 m de hauteur de type Newbury et élargissement de la section d'écoulement de 2 mètres de part et d'autres de celle-ci, le tout au-dessus du niveau plein bord. La distance entre les seuils était de 55 mètres.
- 2) Rivière Portage : ajout de trois (3) seuils de 0.50 m de hauteur de type Newbury et élargissement de la section d'écoulement de 3 mètres de part et d'autres de celle-ci, le tout au-dessus du niveau plein bord. La distance entre les seuils était de 70 mètres.

En résumé, les travaux de modélisation ont permis de valider que la mise en place seuils et la modification de la géométrie pour le ruisseau St-Régis permettent une diminution moyenne des contraintes de cisaillement de 56 % (23 à 11 N/m²). À ce niveau, l'unique modification de la géométrie permettrait uniquement une diminution moyenne de 10 % des contraintes de cisaillement. Ce constat nous apparaît prévisible étant donnée la forte pente actuel de ce segment du cours d'eau.



Les validations pour la rivière Portage permettent une diminution moyenne des contraintes de cisaillement de 56 % (17 à 7.5 N/m²). De plus, la modification de la géométrie permet une diminution des contraintes de cisaillement en berge de +/- 70 %.

Ces validations préliminaires permettent de valider que la mise en place de ces solutions ont un impact positif appréciable sur la diminution des contraintes de cisaillement et donc l'érosion des berges. À ce sujet, des calculs hydrauliques détaillés (1D et 2D) devront être réalisés afin de valider la conception optimale des travaux d'aménagement selon les particularités locales du terrain et les contraintes d'utilisation du sol.

5 Discussion et conclusion

La rivière Portage et ces tributaires, bien que s'écoulant dans un milieu périurbain assez dense, offre des opportunités intéressantes d'interventions pour résoudre la problématique d'érosion des berges généralisée observée depuis quelques années. En effet, la ville possède plusieurs terrains riverains, ce qui permet d'utiliser des interventions de changement de géométrie au lieu des solutions de stabilisation de berge traditionnelles. De plus, l'ajout de structures de type déflecteur et seuil, en berge et dans le lit du cours, est envisageable dans les conditions présentes. Bien que ces structures puissent rehausser les niveaux d'eau en période de crue, la capacité hydraulique du cours d'eau semble amplement suffisante, ainsi les impacts habituellement attribuables à ces aménagements risquent d'être négligeables. Bien sûr, cette affirmation devra être confirmée par une modélisation hydraulique détaillée.



Dans la situation actuelle, nous préconisons des interventions coordonnées et planifiées sur plusieurs années afin de rétablir progressivement l'équilibre de la rivière Portage et diminuer significativement les problématiques d'érosion des berges. Des interventions uniquement ponctuelles en stabilisation de berges ne régleraient que des problèmes locaux et comme les seuils critiques d'érosion seraient encore dépassés régulièrement, les berges actuellement sans érosion commenceraient éventuellement à s'éroder, nécessitant d'autres travaux de stabilisation. Pour briser cette boucle, il est nécessaire d'intervenir de manière globale et de favoriser des interventions s'attaquant aux causes de l'érosion, telles que proposées dans la présente expertise. Cette approche permettra de rétablir un état d'équilibre du cours d'eau actuellement fortement altéré.

Pour assurer la réussite de ce projet, les principales étapes découlant des conclusions de ce rapport devraient être :

Volet 1 (Volet planification)

- Valider la priorité des travaux d'interventions sur le terrain. La priorité des travaux devra être réalisée par segment de rivière et non de façon ponctuelle. Une validation des alternatives possibles des travaux proposés devra être également documentée.
- Réaliser une estimation des coûts des travaux d'interventions. L'estimation des coûts devra être ventilée par zone d'intervention prioritaire.
- Réaliser une présentation des concepts d'aménagements proposés, auprès des citoyens riverains et de la population de la ville de Sainte-Catherine. La présentation devra exposer les travaux proposés en regard aux problématiques d'érosion des berges mais également la vision globale de la ville en regard de l'aménagement du corridor fluvial de la rivière (parc, piste cyclable etc.) à court et long terme. Les discussions avec les riverains et la population en général permettront de mieux connaître les attentes, les contraintes techniques et l'acceptation sociale du projet.



Volet 2 (volet technique)

Suite à la priorisation des interventions, un mandat devra être octroyé à un consultant spécialiste en la matière. Minimalement, l'équipe de travail devra être formé d'ingénieur en hydraulique et géotechnique, d'hydrogéomorphologue, de biologiste et techniciens spécialisés.

Dans l'ensemble, les éléments suivants devront être réalisés :

- Bonifier le relevé topographique actuellement disponible en intégrant les éléments anthropiques (clôture, piscine etc.) et amender le relevé de plus amples détails au niveau de la morphologie de la rivière;
- Valider par modélisation hydraulique 1D et/ou 2D les travaux d'aménagements proposés. À ce sujet, la modélisation hydraulique devra valider la localisation optimale des aménagements (seuils, modification de la géométrie, déflecteurs, etc.) et leurs impacts sur la diminution des contraintes de cisaillement ainsi que sur l'équilibre du cours d'eau à long terme. Lors de cette étape, différents scénarios devront être documentés et confirmés. De plus, la réalisation d'une validation de l'impact des travaux sur l'augmentation potentiel du niveau d'eau en période de crue (20 ans et 100 ans) devra être produite. Cet aspect devra être également validé au niveau de l'impact de certains aménagements (ex : seuils) sur l'augmentation du risque d'embâcle de glace et l'augmentation du niveau d'eau en résultant.
- Suite à la connaissance détaillée des travaux proposés et l'acceptation de ceux-ci, les plans et devis pourront être réalisés par la consultant. Une estimation détaillée des coûts devra également être réalisée.

La présente démarche écarte les éléments administratifs, telles que les approbations de budget auprès du conseil, les appels d'offre public pour la réalisation des travaux, l'obligation potentiel de présenter le dossier devant le Bureau d'audience publique en environnement (BAPE) et/ ou la réalisation de demande de certificat d'autorisation auprès du MDDELCC. L'ensemble de ces éléments a un impact direct sur les échéanciers et l'orientation du projet.

La MRC de Roussillon et ville de Saint-Catherine devrait instaurer un programme de suivi avec des mesures claires afin de quantifier les effets réels des interventions. Si les effets escomptés n'atteignent pas les objectifs désirés par la ville, il sera alors possible de réajuster le projet.

Si la philosophie d'intervention proposée dans ce document est préconisée par la ville de Sainte-Catherine, il s'agira en fait d'un véritable projet de restauration de l'équilibre de la rivière Portage qui va bien au-delà d'un simple contrôle de l'érosion des berges et permettra une cohabitation plus durable de la rivière et de l'utilisation du sol adjacent. Ce projet est d'autant plus porteur que la ville prévoit l'aménagement d'un parc linéaire le long du ruisseau afin de donner un accès public aux rives.



6 BIBLIOGRAPHIE

Annable WK. (1996). Database of morphologic characteristics of watercourses in Southern Ontario. Ontario Ministry of Natural Resources.

Brierley, G., Fryirs, K., Outhet, D., & Massey, C. (2002). Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South Wales, Australia. *Applied Geography*, 22(1), 91-122.

Cao, Z., Pender, G., & Meng, J. (2006). Explicit formulation of the Shields diagram for incipient motion of sediment. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(10), 1097-1099.

Downs, P.W. (1995). Estimating the probability of river channel adjustment. *Earth Surface Processes & Landforms*, 20, 687-705.

Dunn, T., & Leopold, L. B. (1978). Water in environmental planning. SH Freeman and Co., New York, NY.

Federal Interagency Stream Resoration Working Group. (1998). Stream corridor restoration: principles, processes, and practices.

Fischenich, C. (2001). Stability thresholds for stream restoration materials (No. ERDC-TN-EMRRP-SR-29). Engineer research and development center Vicksburg MS environmental lab.

Julian, J. P., & Torres, R. (2006). Hydraulic erosion of cohesive riverbanks. *Geomorphology*, 76(1), 193-206.

Komar, P. D. (1987). Selective gravel entrainment and the empirical evaluation of flow competence. *Sedimentology*, 34(6), 1165-1176.

Lamontagne, L., Martin, A., Cossette, J.-M. et Grenon, L. (2000). Étude pédologique du comté de Laprairie (Québec). Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Sainte-Foy (Québec). Bulletin d'extension n° 11. 356 pp. + 3 feuillets à l'échelle 1 : 20 000.

MacRae CR. (1991). A procedure for the design of storage facilities for instream erosion control in urban streams. Thesis. University of Ottawa.

Sclafani, P. (2010). Methodology for predicting maximum velocity and shear stress in a sinuous channel with bendway weirs using 1-D HEC-RAS modeling results (Doctoral dissertation, Colorado State University).

Shields, A. (1936). Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung. Preussische Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, 26, 524-526.

Simon, A., & Hupp, C. R. (1986). Channel evolution in modified Tennessee channels. In Proceedings of the Fourth Federal Interagency Sedimentation Conference March 24-27, 1986, Las Vegas, Nevada. (Vol. 2).



Smerdon, E. T., & Beasley, R. P. (1961). Critical tractive forces in cohesive soils. *Agricultural Engineering*, 42(1), 26-29.

Stream Simulation Working Group. (2008). Stream simulation: an ecological approach to providing passage for aquatic organisms at road-stream crossings. *US Department of Agriculture, Forest Service, San Dimas Technology and Development Center. Washington, DC.*

Therriault, A. et Godbout, G. (1943). Carte des sols du comté de Laprairie. Ministère de l'Agriculture. Gouvernement du Québec. 1 carte à l'échelle du 1 : 63 360 + notices explicatives.

Wolman MG, Miller JP. (1960). Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. *Journal of Geology*, 68 : 54–74.

Yang, C. T. (2006). Erosion and sedimentation manual. *US Dep. of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO.*



A

Données brutes

Résultat simulation continu

Rivière Portage

Année	Conditions actuelles - Q critique											
	Débit max (m ³ /s)	Débit moyen (m ³ /s)	Durée totale (h)	Durée indice excédé (h)	Indice excédé (%)	# de dépassements	Durée indice excédé (h)	Indice excédé (%)	# de dépassements	Durée indice excédé (h)	Indice excédé (%)	# de dépassements
Site 1 - S25			(Q critique min : 4.5 m ³ /s)			(Q critique max : 18 m ³ /s)			(Q critique moy : 12 m ³ /s)			
1965	44.948	1.401	5208.75	288.75	5.54	4	21.50	0.41	2	46.25	0.89	3
1966	25.744	1.103	5161.75	198.50	3.85	9	10.25	0.20	1	36.00	0.70	3
1967	9.390	0.429	5166.00	51.00	0.99	3	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
1968	18.404	1.199	5166.25	156.25	3.02	7	2.75	0.05	1	20.00	0.39	2
1969	27.592	1.449	5163.75	224.50	4.35	7	31.75	0.61	3	55.50	1.07	3
1970	6.980	0.702	5139.25	21.25	0.41	2	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
1971	14.112	0.837	5162.50	138.50	2.68	4	0.00	0.00	0	15.00	0.29	2
1972	2.672	0.119	5139.25	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
1973	19.260	1.314	5158.00	322.00	6.24	8	7.25	0.14	2	55.25	1.07	5
1974	59.428	1.245	5139.25	208.75	4.06	9	20.50	0.40	1	28.25	0.55	1
1975	46.712	1.348	5163.75	357.00	6.91	9	27.25	0.53	2	50.25	0.97	3
1976	19.184	1.526	5209.50	351.75	6.75	11	4.00	0.08	1	30.75	0.59	3
1977	10.222	1.263	5161.25	181.75	3.52	10	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
1978	28.488	1.290	5165.50	192.00	3.72	5	12.75	0.25	1	20.75	0.40	1
1979	57.424	1.819	5161.75	428.25	8.30	12	39.00	0.76	3	82.00	1.59	5
1980	68.516	1.713	5164.75	414.75	8.03	9	24.00	0.46	2	73.25	1.42	5
1981	38.647	1.849	5158.00	414.50	8.04	16	21.25	0.41	1	44.00	0.85	3
1982	17.143	0.822	5139.25	127.75	2.49	5	0.00	0.00	0	10.25	0.20	1
1983	16.421	1.222	5158.75	178.50	3.46	9	0.00	0.00	0	10.25	0.20	1
1984	20.351	1.387	5164.75	209.00	4.05	10	5.50	0.11	1	13.25	0.26	1
1985	44.999	1.432	5163.75	330.25	6.40	10	27.25	0.53	2	56.75	1.10	3
1986	24.474	1.739	5170.50	320.75	6.20	11	9.25	0.18	1	51.00	0.99	5
1987	32.092	1.164	5167.25	253.50	4.91	5	37.75	0.73	2	62.75	1.21	2
1988	11.115	0.848	5139.25	85.50	1.66	6	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
1989	18.809	1.074	5164.50	154.50	2.99	7	3.25	0.06	1	25.00	0.48	2
1990	27.157	1.787	5164.75	371.25	7.19	10	23.00	0.45	2	59.25	1.15	5
1991	13.182	1.287	5160.75	144.00	2.79	7	0.00	0.00	0	6.75	0.13	2
1992	20.230	1.435	5161.00	283.50	5.49	12	5.50	0.11	1	25.75	0.50	3
1993	12.625	0.837	5139.25	80.75	1.57	3	0.00	0.00	0	7.25	0.14	2
1994	37.641	1.278	5139.25	303.00	5.90	8	19.25	0.37	3	52.50	1.02	3
1995	120.354	2.132	5167.50	492.25	9.53	12	71.00	1.37	6	116.25	2.25	6
1996	51.173	1.681	5183.00	364.25	7.03	12	24.75	0.48	1	79.25	1.53	4
1997	86.435	1.933	5167.25	443.75	8.59	12	35.25	0.68	2	67.25	1.30	4
1998	34.174	1.211	5166.00	201.25	3.90	6	19.00	0.37	2	42.25	0.82	2
1999	23.257	1.084	4088.75	192.00	4.70	5	11.25	0.28	2	29.00	0.71	2
Moyenne	31.696	1.285	5131.28	242.44	4.72	8	14.69	0.29	1	36.34	0.71	2
Écart-type						3			1			2

Rivière St-Régis

Année	Conditions actuelles - Q critique											
	Débit max (m ³ /s)	Débit moyen (m ³ /s)	Durée totale (h)	Durée indice excédé (h)	Indice excédé (%)	# de dépassements	Durée indice excédé (h)	Indice excédé (%)	# de dépassements	Durée indice excédé (h)	Indice excédé (%)	# de dépassements
Site 1 - S25				(Q critique min : 1.9 m ³ /s)			(Q critique max : 3.5 m ³ /s)			(Q critique moy : 2.8 m ³ /s)		
1965	24.604	0.729	5187.00	420.75	8.11	7	148.00	2.85	5	216.75	4.18	4
1966	13.951	0.572	5161.25	326.75	6.33	10	66.25	1.28	3	111.00	2.15	5
1967	5.061	0.222	5165.50	81.00	1.57	3	13.00	0.25	1	26.75	0.52	2
1968	9.995	0.622	5165.75	269.25	5.21	9	53.50	1.04	3	98.00	1.90	6
1969	15.060	0.751	5163.25	364.75	7.06	10	102.25	1.98	3	150.50	2.91	3
1970	3.792	0.364	5139.00	46.00	0.90	3	5.25	0.10	1	12.00	0.23	1
1971	7.503	0.434	5162.00	209.00	4.05	4	57.00	1.10	3	85.00	1.65	4
1972	1.406	0.062	5139.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
1973	10.591	0.681	5157.50	468.00	9.07	10	142.25	2.76	7	216.75	4.20	8
1974	32.613	0.645	5139.00	328.25	6.39	11	70.25	1.37	3	131.00	2.55	5
1975	25.495	0.699	5163.25	549.50	10.64	10	140.50	2.72	8	225.25	4.36	9
1976	10.498	0.794	5188.00	519.00	10.00	12	138.50	2.67	9	220.50	4.25	11
1977	5.515	0.655	5160.75	367.25	7.12	15	51.50	1.00	6	102.25	1.98	8
1978	15.520	0.669	5165.00	280.25	5.43	7	83.50	1.62	5	141.75	2.74	4
1979	31.383	0.943	5161.25	669.75	12.98	15	179.00	3.47	7	276.50	5.36	9
1980	37.765	0.888	5164.25	553.25	10.71	9	209.25	4.05	8	311.75	6.04	9
1981	20.910	0.958	5157.50	616.50	11.95	16	157.75	3.06	10	261.75	5.08	12
1982	9.370	0.426	5139.00	206.50	4.02	6	37.00	0.72	3	79.25	1.54	5
1983	8.914	0.634	5158.25	288.25	5.59	9	53.25	1.03	5	103.25	2.00	7
1984	11.174	0.719	5164.25	356.75	6.91	13	78.50	1.52	5	132.50	2.57	8
1985	24.539	0.742	5163.25	495.25	9.59	10	134.50	2.60	5	205.75	3.98	7
1986	13.207	0.902	5166.00	472.00	9.14	13	144.75	2.80	7	213.25	4.13	9
1987	17.069	0.603	5166.50	323.50	6.26	6	133.00	2.57	3	192.75	3.73	4
1988	6.038	0.439	5139.00	153.50	2.99	7	18.25	0.36	2	47.50	0.92	4
1989	10.219	0.557	5164.00	245.25	4.75	8	53.75	1.04	3	89.25	1.73	4
1990	14.866	0.926	5164.25	564.25	10.93	13	169.25	3.28	8	254.25	4.92	9
1991	7.132	0.667	5160.25	275.75	5.34	11	45.00	0.87	3	79.00	1.53	5
1992	11.073	0.744	5160.50	451.00	8.74	13	96.50	1.87	6	157.00	3.04	8
1993	6.858	0.434	5139.00	141.75	2.76	6	35.00	0.68	2	57.50	1.12	3
1994	20.685	0.662	5139.00	395.75	7.70	8	118.25	2.30	6	191.00	3.72	7
1995	66.387	1.105	5167.00	666.75	12.90	12	223.25	4.32	10	330.25	6.39	9
1996	27.843	0.874	5166.25	529.50	10.25	11	160.75	3.11	6	233.75	4.52	7
1997	47.615	1.002	5166.75	610.50	11.82	12	203.00	3.93	10	311.25	6.02	12
1998	18.763	0.628	5165.50	284.75	5.51	8	88.75	1.72	4	140.50	2.72	6
1999	12.667	0.565	4068.00	317.75	7.81	9	89.75	2.21	5	132.25	3.25	5
Moyenne	17.317	0.666	5128.46	367.09	7.16	9	100.01	1.95	5	158.22	3.08	6
Écart-type						4			3			3

Rivière St-Pierre

Conditions actuelles - Q critique											
Débit max (m ³ /s)	Débit moyen (m ³ /s)	Durée totale (h)	Durée indice excédé (h)	Indice excédé (%)	# de dépassements	Durée indice excédé (h)	Indice excédé (%)	# de dépassements	Durée indice excédé (h)	Indice excédé (%)	# de dépassements
			(Q critique min : 2.1 m ³ /s)			(Q critique max : 4.5 m ³ /s)			(Q critique moy : 3.3 m ³ /s)		
19.665	0.650	5207.50	291.00	5.59	4	76.00	1.46	4	146.00	2.80	5
11.493	0.512	5158.50	193.25	3.75	7	48.50	0.94	2	68.75	1.33	2
4.231	0.199	5163.75	53.25	1.03	3	0.00	0.00	0	11.00	0.21	1
8.108	0.556	5163.75	161.50	3.13	7	29.25	0.57	2	46.50	0.90	2
12.209	0.672	5161.00	216.75	4.20	4	74.25	1.44	3	107.75	2.09	3
3.135	0.326	5139.00	20.50	0.40	2	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
6.386	0.388	5159.75	138.50	2.68	3	27.00	0.52	2	55.25	1.07	3
1.241	0.055	5139.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
8.467	0.610	5154.75	328.50	6.37	8	81.75	1.59	5	136.75	2.65	6
26.212	0.577	5139.00	205.25	3.99	9	42.75	0.83	2	66.50	1.29	3
20.457	0.625	5160.75	360.25	6.98	9	67.75	1.31	3	134.00	2.60	7
8.422	0.708	5208.00	361.50	6.94	11	55.25	1.06	5	123.00	2.36	8
4.627	0.586	5158.25	185.50	3.60	10	3.50	0.07	2	28.75	0.56	3
12.647	0.598	5163.00	193.00	3.74	4	29.25	0.57	1	73.75	1.43	4
25.353	0.844	5158.50	431.75	8.37	12	113.25	2.20	6	181.50	3.52	7
30.141	0.795	5162.25	419.00	8.12	9	114.75	2.22	4	200.25	3.88	7
17.043	0.858	5154.75	423.50	8.22	16	68.50	1.33	4	133.25	2.58	8
7.615	0.381	5139.00	131.75	2.56	5	14.50	0.28	1	31.25	0.61	2
7.332	0.567	5155.50	180.50	3.50	9	15.00	0.29	1	40.00	0.78	3
8.948	0.643	5162.00	212.75	4.12	8	18.75	0.36	2	67.50	1.31	5
19.706	0.664	5161.00	330.50	6.40	10	83.75	1.62	4	133.50	2.59	5
10.977	0.807	5169.00	326.75	6.32	10	76.75	1.48	4	141.75	2.74	7
14.556	0.540	5165.00	253.25	4.90	5	79.25	1.53	2	123.00	2.38	3
4.973	0.393	5139.00	85.00	1.65	6	5.75	0.11	1	14.75	0.29	1
8.323	0.498	5161.75	158.00	3.06	7	35.25	0.68	2	52.75	1.02	2
12.003	0.829	5162.00	377.75	7.32	10	87.00	1.69	5	165.75	3.21	8
5.924	0.597	5157.75	146.25	2.84	7	18.00	0.35	2	41.00	0.79	3
8.907	0.666	5158.00	290.50	5.63	12	45.25	0.88	4	94.25	1.83	5
5.676	0.388	5139.00	82.50	1.61	3	21.50	0.42	2	33.75	0.66	1
16.503	0.592	5139.00	305.00	5.94	7	70.00	1.36	3	112.50	2.19	5
53.406	0.989	5165.50	493.25	9.55	12	153.25	2.97	6	225.75	4.37	6
22.533	0.780	5182.00	368.00	7.10	12	110.75	2.14	4	158.25	3.05	5
38.022	0.896	5165.00	452.50	8.76	12	103.75	2.01	6	198.75	3.85	9
14.991	0.562	5163.75	204.50	3.96	6	54.75	1.06	2	86.50	1.68	3
10.237	0.503	4087.25	196.25	4.80	5	53.25	1.30	4	87.75	2.15	4
14.013	0.596	5129.23	245.09	4.78	8	53.66	1.05	3	94.91	1.85	4
					4			2			2

Fiche section types

Fiche détaillée de section transversale type (1/2)

Projet: 1225

Section: 11.2
 Coordonnées: 45.4027, -73.5699

Distance, altitude : 382 m, 12.42 m
 Date : 27/11/2014

Contexte

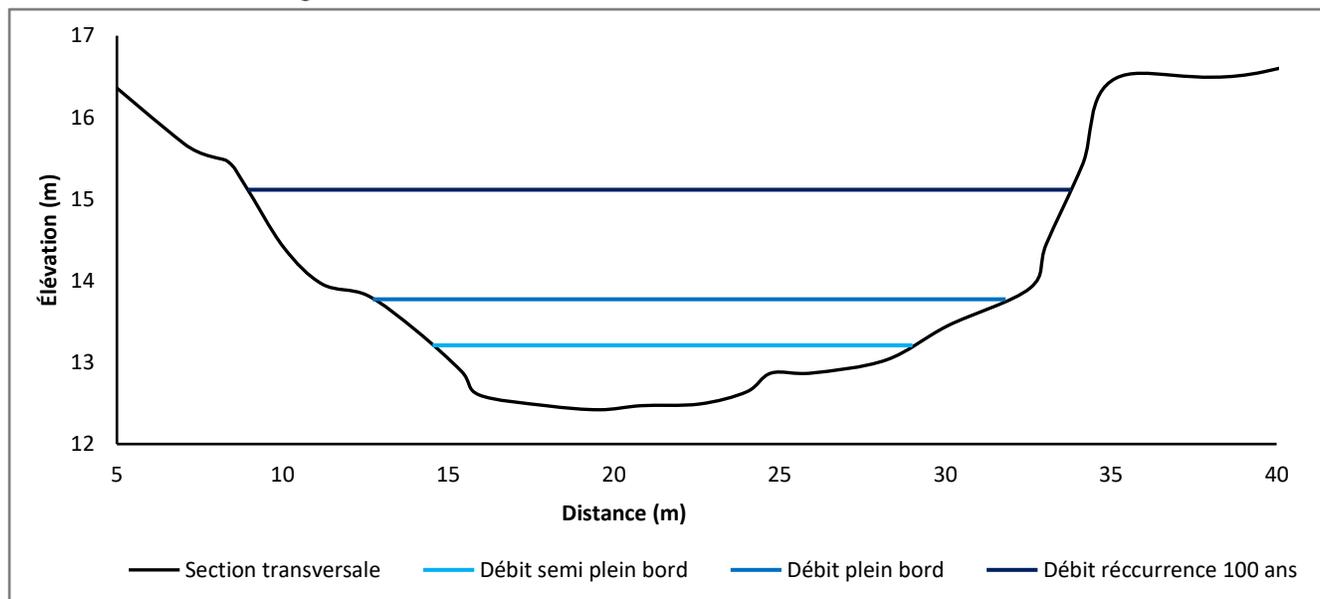
Utilisation du sol : Résidentiel

Végétation riveraine : Roseau commun, Sumac, Frêne

Perturbations : Érosion des berges

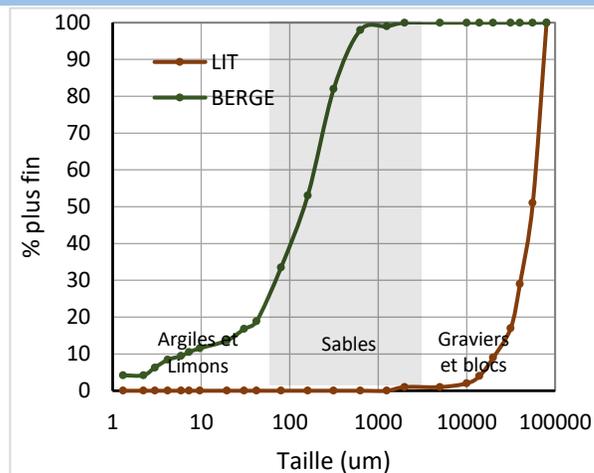
Section transversale - caractéristiques 14.5 m³/s (débit plein bord)

Pente	--	0.0010	Sédiment (lit)	--	Very Coarse Gravel
Largeur	m	19.1	n de Manning	--	0.033
Profondeur max	m	1.35	Débit	m ³ /s	14.5
Largeur/Profondeur	--	14.1	Vitesse	m/s	0.86
Encaissement	--	1.3	Puissance	W/m ²	7.16
Pente des berges	°	23	Cisaillement	N/m ²	8.22
Hauteur des berges	m	3.55	Sinuosité	--	1.35



Granulométrie

	LIT	BERGE
Taille des sédiments (um)		
Moyenne	23380	110.6
D ₅₀	78713.5	143.8
D ₈₄	154182	343.5
D ₉₀	190089	445.5
Tri	0.4	4.3
Composition des sédiments (%)		
Argile	0	4
Limon	0	24
Sable	0	72
Gravier	100	0



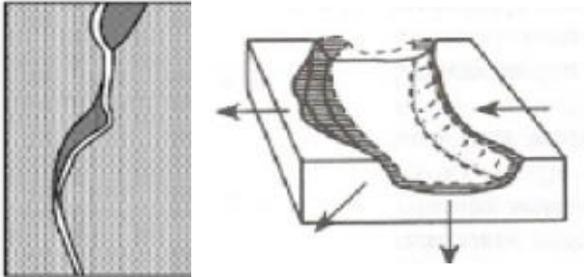
Fiche détaillée de section transversale type (2/2)

Projet: 1225

Section: 11.2
 Coordonnées: 45.4027, -73.5699

Distance, altitude : 382 m, 12.42 m
 Date : 27/11/2014

Dynamique de la section^{1,2}



Dynamique: Section confinée, déconnectée de sa plaine alluviale, processus d'incision en ralentissement et élargissement par érosion des berges actif.

Évolution probable : Atteinte d'une largeur stable avec construction d'une plaine alluviale de part et d'autre du chenal principal.

Conditions critiques pour l'entraînement des particules (D_{50})

Équation	Cisaillement (N/m^2)		Débit (m^3/s)		% du débit plein bord	
	LIT	BERGE	LIT	BERGE	LIT	BERGE
Shields (Fischenisch 2001)	66.4	1.4	Jamais	1.2		8.2759
Smerdon & Beasley 1961		3.5		3.9		26.897
Smerdon & Beasley 1961		0.6		0.35		2.4138
Julian and Torres 2006		6.7		9		62.069
Komar 1987	57.3		Jamais			

Taille entraînée (mm)

Shields (Cao et al 2006)

Débit semi-plein bord

47.96 mm

Débit plein bord

113 mm

Photos



Commentaires

- Maisons proches en rive gauche
- Sédiments du lit très grossiers
- Érosion en hauteur sur la rive droite
- Présence d'une plaine alluviale en rive droite...sédiment provenant de l'érosion de la berge?

1. Extrait de Downs, P.W. (1995) Estimating the probability of river channel adjustment. Earth Surface Processes & Landforms, 20, 687-705.

2. Extrait de Brierley, G., Fryirs, K., Outhet, D., & Massey, C. (2002). Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South

Fiche détaillée de section transversale type (1/2)

Projet: 1225

Section: 19.2

Distance, altitude : 7978 m, 12.89 m

Coordonnées: 45.4001, -73.5669

Date : 27/11/2014

Contexte

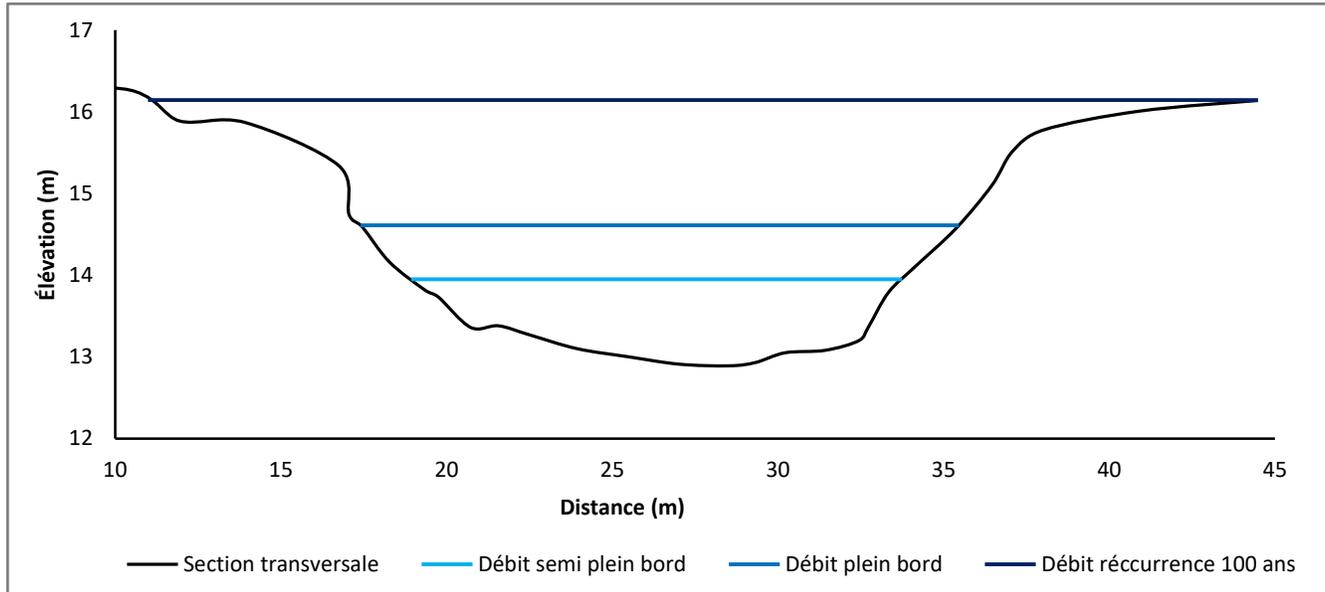
Utilisation du sol : Résidentiel / Parc municipal

Végétation riveraine : Roseau commun, Sumac, Frêne

Perturbations : Érosion des berges/ aménagements par des citoyens

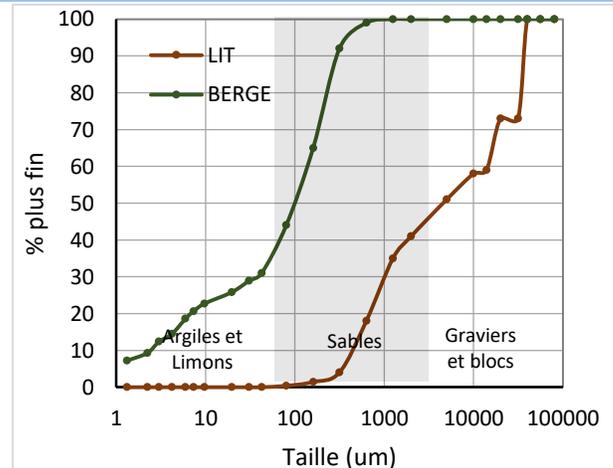
Section transversale - caractéristiques 14.5 m³/s (débit plein bord)

Pente	--	0.0004	Sédiment (lit)	--	Sandy Very Coarse Gravel
Largeur	m	18.1	n de Manning	--	0.036
Profondeur max	m	1.72	Débit	m ³ /s	14.5
Largeur/Profondeur	--	10.5	Vitesse	m/s	0.66
Encaissement	--	1.9	Puissance	W/m ²	3.46
Pente des berges	°	23	Cisaillement	N/m ²	5.1
Hauteur des berges	m	1.76	Sinuosité	--	1.35



Granulométrie

	LIT	BERGE
Taille des sédiments (um)		
Moyenne	4487.8	49.3
D ₅₀	4562.2	97.5
D ₈₄	34719.9	257.7
D ₉₀	36612.9	299.6
Tri	5.7	6.7
Composition des sédiments (%)		
Argile	0	9
Limon	0	30
Sable	41	61
Gravier	59	0



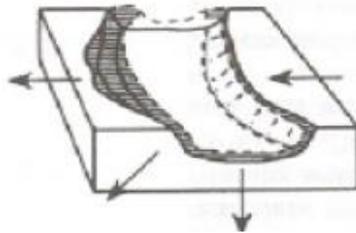
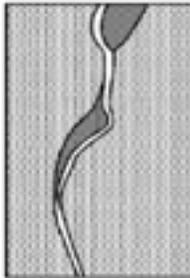
Section: 19.2

Distance, altitude : 7978 m, 12.89 m

Coordonnées: 45.4001, -73.5669

Date : 27/11/2014

Dynamique de la section^{1,2}



Dynamique: Section confinée, déconnectée de sa plaine alluviale, processus d'incision en ralentissement et élargissement par érosion des berges modéré.
Évolution probable : Atteinte d'une largeur stable avec construction d'une plaine alluviale de part et d'autre du chenal principal.

Conditions critiques pour l'entraînement des particules (D_{50})

Équation	Cisaillement (N/m^2)		Débit (m^3/s)		% du débit plein bord	
	LIT	BERGE	LIT	BERGE	LIT	BERGE
Shields (Fischenisch 2001)	3.1	1.2	9.5	3.9	66	27
Smerdon & Beasley 1961		3.5		11		76
Smerdon & Beasley 1961		0.7		2.5		17
Julian and Torres 2006		9.9		33		228
Komar 1987	3.3		10		69	

Taille entraînée (mm)

Shields (Cao et al 2006)

Débit semi-plein bord

20.48 mm

Débit plein bord

70 mm

Photos



Commentaires

Section avec une dynamique apparente faible
 Érosion en rive gauche
 Présence de végétation abondante en rive droite
 Présence d'anciens enrochements?

1. Extrait de Downs, P.W. (1995) Estimating the probability of river channel adjustment. Earth Surface Processes & Landforms, 20, 687-705.
 2. Extrait de Brierley, G., Fryirs, K., Outhet, D., & Massey, C. (2002). Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South

Fiche détaillée de section transversale type (1/2)

Projet: 1225

Section: 33.2

Distance, altitude : 1411, 14.49

Coordonnées: 45.3981, -73.5620

Date : 26/11/2014

Contexte

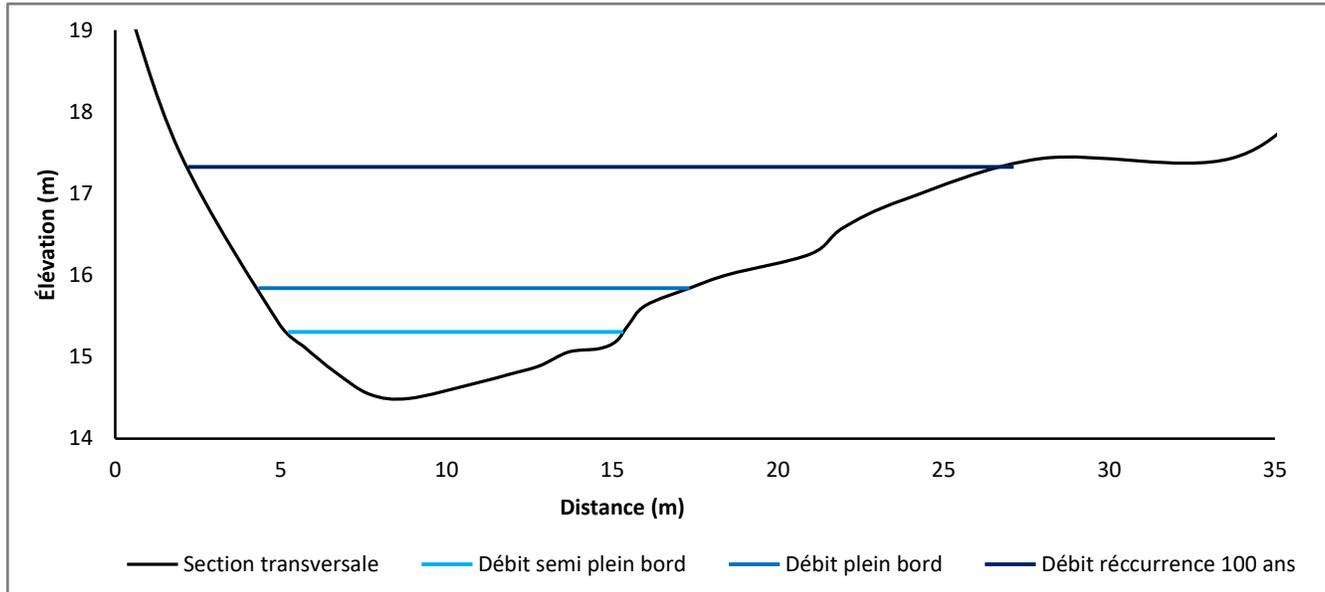
Utilisation du sol : Résidentiel

Végétation riveraine : Sumac, Peuplier, frêne

Perturbations : Érosion des berges, clôtures, bois bûché

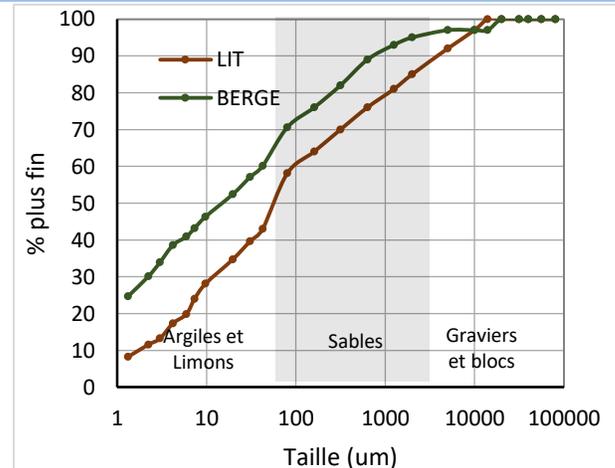
Section transversale - caractéristiques 14.5 m³/s (débit plein bord)

Pente	--	0.0023	Sédiment (lit)	--	Slightly Coarse Gravelly Very Fine Sandy Mud
Largeur	m	13.0	n de Manning	--	0.032
Profondeur max	m	1.35	Débit	m ³ /s	14.5
Largeur/Profondeur	--	9.6	Vitesse	m/s	1.31
Encaissement	--	1.9	Puissance	W/m ²	25.30
Pente des berges	°	22	Cisaillement	N/m ²	18.7
Hauteur des berges	m	2.73	Sinuosité	--	1.35



Granulométrie

	LIT	BERGE
Taille des sédiments (um)		
Moyenne	18.3	110.6
D ₅₀	14.8	143.8
D ₈₄	384.0	343.5
D ₉₀	747.7	445.5
Tri	14.1	4.3
Composition des sédiments (%)		
Argile	29	4
Limon	38	24
Sable	28	72
Gravier	5	0



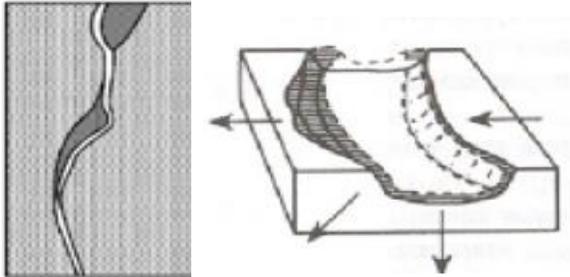
Section: 33.2

Distance, altitude : 1411, 14.49

Coordonnées: 45.3981, -73.5620

Date : 26/11/2014

Dynamique de la section^{1,2}



Dynamique: Section confinée, déconnectée de sa plaine alluviale, processus d'incision en ralentissement et élargissement par érosion des berges actif.
Évolution probable : Atteinte d'une largeur stable avec construction d'une plaine alluviale de part et d'autre du chenal principal.

Conditions critiques pour l'entrainement des particules (D_{50})

Équation	Cisaillement (N/m^2)		Débit (m^3/s)		% du débit plein bord	
	LIT	BERGE	LIT	BERGE	LIT	BERGE
Shields (Fischenisch 2001)	0.3	1.4	0.1	0.8	1	6
Smerdon & Beasley 1961	3.5	3.5	2.2	2.2	15	15
Smerdon & Beasley 1961	0.8	1.6	0.4	0.9	3	6
Julian and Torres 2006	13.7	17.4	11	16.1	76	111

Taille entraînée (mm)

Débit semi-plein bord

Débit plein bord

Shields (Cao et al 2006)

113.24 mm

257 mm

Photos



Commentaires

Érosion en berge convexe et pas de banc d'accumulation tel qu'attendu
 Présence d'enrochements localisés en berge concave
 Sédiments du lit sont des blocs sur un fond de sédiments fins (échantillon)

1. Extrait de Downs, P.W. (1995) Estimating the probability of river channel adjustment. Earth Surface Processes & Landforms, 20, 687-705.

2. Extrait de Brierley, G., Fryirs, K., Outhet, D., & Massey, C. (2002). Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South

Fiche détaillée de section transversale type (1/2)

Projet: 1225

Section: 39.2

Distance, altitude : 1701 m, 14.17 m

Coordonnées: 45.3957, -73.5622

Date : 26/11/2014

Contexte

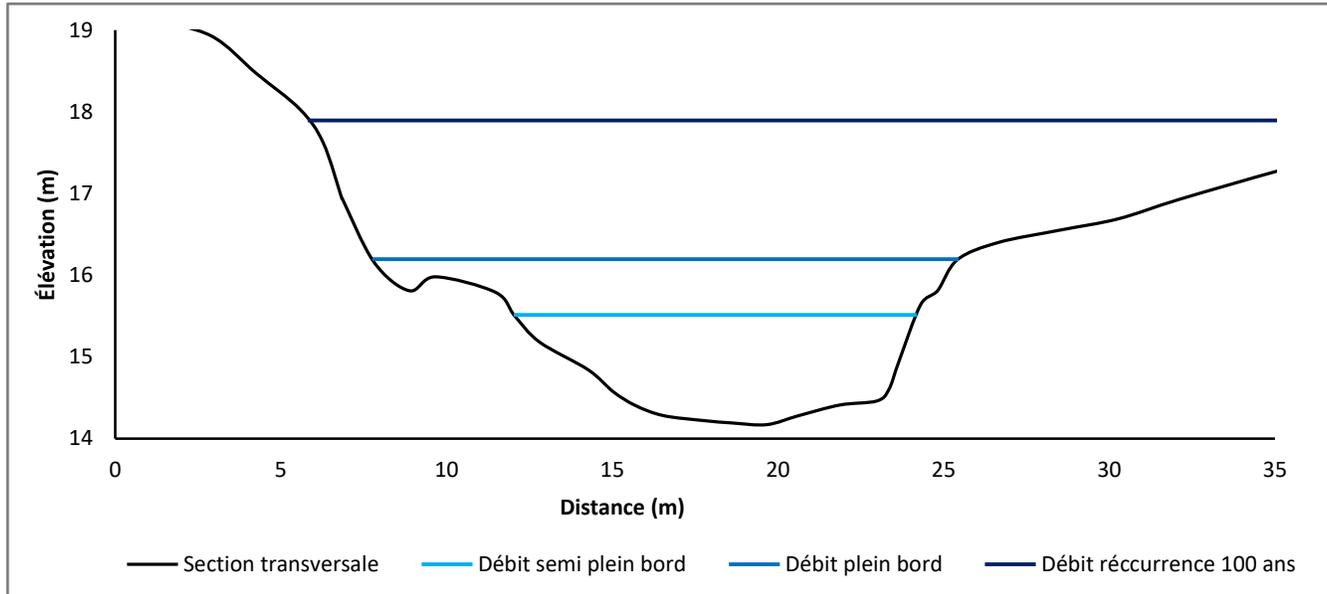
Utilisation du sol : Résidentiel / parc municipal

Végétation riveraine : Sumac, peuplier, frêne

Perturbations : Érosion des berges, émissaire

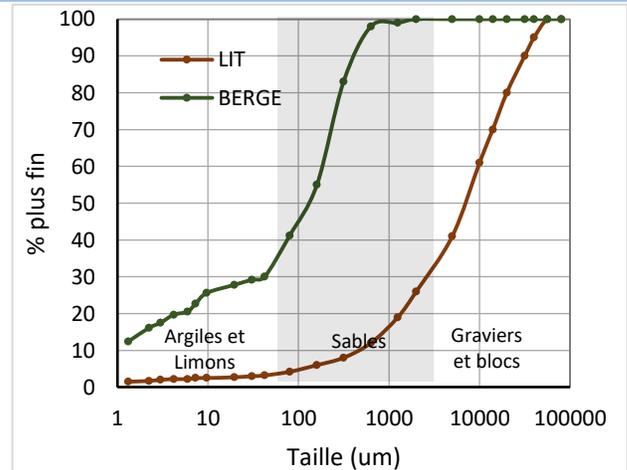
Section transversale - caractéristiques 14.5 m³/s (débit plein bord)

Pente	--	0.0004	Sédiment (lit)	--	Muddy Sandy Medium Gravel
Largeur	m	17.7	n de Manning	--	0.032
Profondeur max	m	2.03	Débit	m ³ /s	14.5
Largeur/Profondeur	--	8.7	Vitesse	m/s	0.66
Encaissement	--	1.8	Puissance	W/m ²	2.87
Pente des berges	°	16	Cisaillement	N/m ²	4.11
Hauteur des berges	m	3.29	Sinuosité	--	1.35



Granulométrie

	LIT	BERGE
Taille des sédiments (um)		
Moyenne	5344.6	44.9
D ₅₀	6830.2	124.5
D ₈₄	23985.1	329.9
D ₉₀	31500.0	435.3
Tri	5.5	9.2
Composition des sédiments (%)		
Argile	2	15
Limon	2	22
Sable	22	63
Gravier	74	0



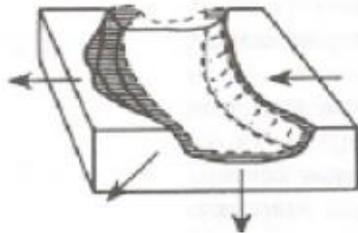
Section: 39.2

Distance, altitude : 1701 m, 14.17 m

Coordonnées: 45.3957, -73.5622

Date : 26/11/2014

Dynamique de la section^{1,2}



Dynamique: Section confinée, déconnectée de sa plaine alluviale, processus d'incision en ralentissement et élargissement par érosion des berges actif.
Évolution probable : Atteinte d'une largeur stable avec construction d'une plaine alluviale de part et d'autre du chenal principal.

Conditions critiques pour l'entraînement des particules (D_{50})

Équation	Cisaillement (N/m^2)		Débit (m^3/s)		% du débit plein bord	
	LIT	BERGE	LIT	BERGE	LIT	BERGE
Shields (Fischenisch 2001)	4.6	1.3	16.2	4.5	112	31
Smerdon & Beasley 1961		3.5		12.3		85
Smerdon & Beasley 1961		0.9		3.25		22
Julian and Torres 2006		9.3		46		317
Komar 1987	5.0		18.4		127	

Taille entraînée (mm)

Shields (Cao et al 2006)

Débit semi-plein bord

15.53 mm

Débit plein bord

56 mm

Photos



Commentaires

Maison proches en rive gauche

Stabilisation en berge convexe près de l'émissaire

Érosion présente sur les deux berges en hauteur

Présence d'un début de plaine alluviale, en berge concave, provenant probablement de l'érosion locale des berges.

1. Extrait de Downs, P.W. (1995) Estimating the probability of river channel adjustment. Earth Surface Processes & Landforms, 20, 687-705.

2. Extrait de Brierley, G., Fryirs, K., Outhet, D., & Massey, C. (2002). Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South

Fiche détaillée de section transversale type (1/2)

Projet: 1225

Section: 47.2

Distance, altitude : 2096 m, 13.73 m

Coordonnées: 45.3955, -73.5581

Date : 27/11/2014

Contexte

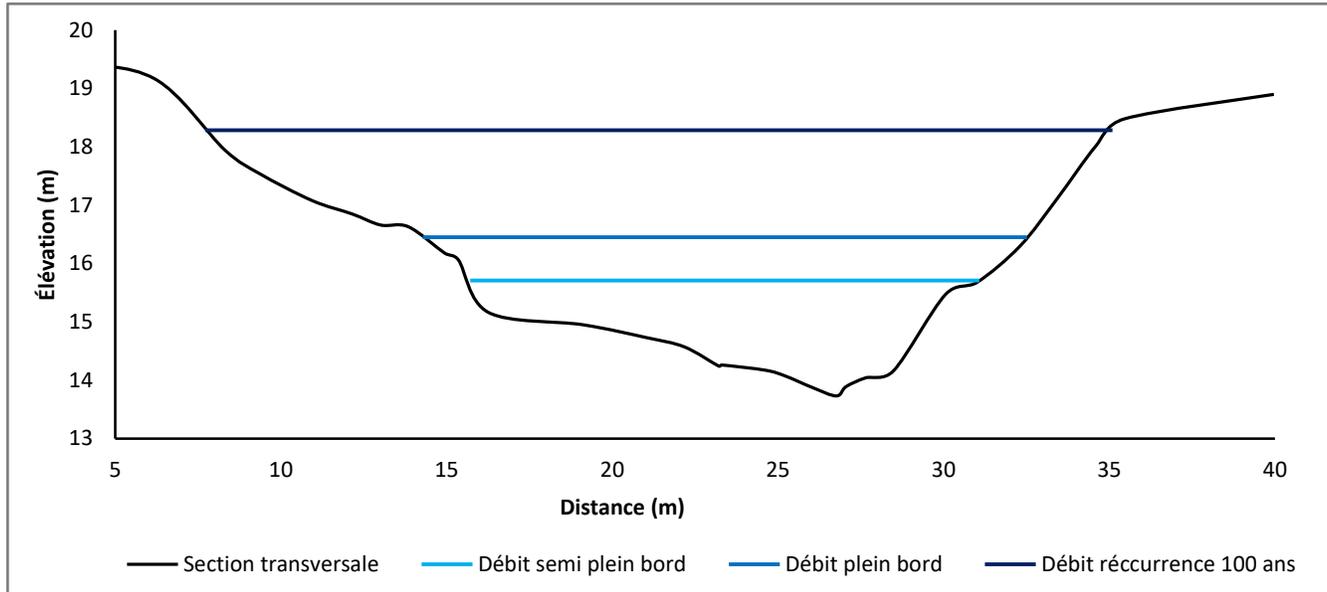
Utilisation du sol : Résidentiel

Végétation riveraine : Roseau Commun, herbacées, quelques arbres

Perturbations : Stationnement sur le talus

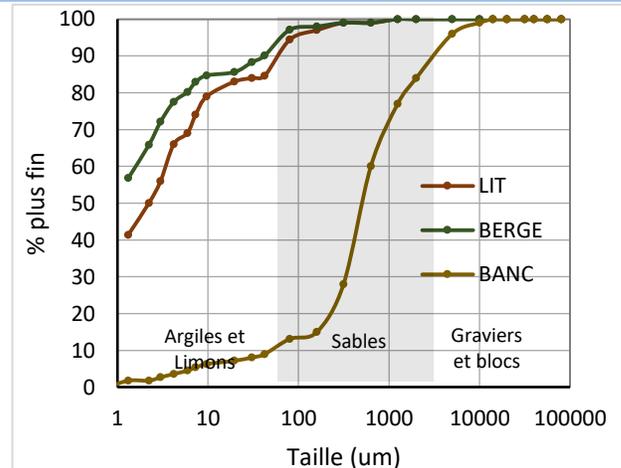
Section transversale - caractéristiques 14.5 m³/s (débit plein bord)

Pente	--	0.0002	Sédiment (lit)	--	Mud
Largeur	m	18.2	n de Manning	--	0.033
Profondeur max	m	2.72	Débit	m ³ /s	14.5
Largeur/Profondeur	--	6.7	Vitesse	m/s	0.5
Encaissement	--	1.5	Puissance	W/m ²	1.23
Pente des berges	°	26	Cisaillement	N/m ²	2.28
Hauteur des berges	m	4.05	Sinuosité	--	1.35



Granulométrie

	LIT	BERGE	BANC
Taille des sédiments (um)			
Moyenne	4.0	2.1	555.1
D ₅₀	2.2	1.2	507.3
D ₈₄	30.7	8.7	2000.0
D ₉₀	60.1	41.6	3162.3
Tri	4.9	3.5	5.0
Composition des sédiments (%)			
Argile	48	64	2
Limon	43	31	10
Sable	9	6	72
Gravier	0	0	16



Section: 47.2

Distance, altitude : 2096 m, 13.73 m

Coordonnées: 45.3955, -73.5581

Date : 27/11/2014

Dynamique de la section^{1,2}



Dynamique: Section confinée, déconnectée de sa plaine alluviale, processus de migration latérale dominant, mais présence d'élargissement présent.
Évolution probable : Atteinte d'une largeur stable et évolution progressive du méandres et de la construction du banc d'accumulation.

Conditions critiques pour l'entrainement des particules (D_{50})

Équation	Cisaillement (N/m^2)			Débit (m^3/s)			% du débit plein bord		
	LIT	BERGE	BANC	LIT	BERGE	BANC	LIT	BERGE	BANC
Shields (Fischenisch 2001)	0.004	0.002	2.4	0.1	0.1	9.6	1	1	66
Smerdon & Beasley 1961	3.5	3.5		13.7	3.7		94	26	
Smerdon & Beasley 1961	3.7	7.1		14.9	29		103	200	
Julian and Torres 2006	21.8	22.2		JAMAIS JAMAIS					
Komar 1987			0.4			2.4			17

Taille entraînée (mm)

Shields (Cao et al 2006)

Débit semi-plein bord

7.83 mm

Débit plein bord

31 mm

Photos



Commentaires

Maison assez éloignées en rive droite (concave)
 Section peu dynamique, érosion présente principalement en rive concave
 Présence d'un banc d'accumulation en berge convexe, rare dans le secteur d'étude
 Section large et profonde
 Absence de gravier, en contraste avec le reste du secteur d'étude
 Encassement du thalweg jusqu'à l'argile marine

1. Extrait de Downs, P.W. (1995) Estimating the probability of river channel adjustment. Earth Surface Processes & Landforms, 20, 687-705.

2. Extrait de Brierley, G., Fryirs, K., Outhet, D., & Massey, C. (2002). Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South

Fiche détaillée de section transversale type (1/2)

Projet: 1225

Section: 54.2

Distance, altitude : 2468 m, 14.46 m

Coordonnées: 45.3926, -73.5581

Date : 26/11/2014

Contexte

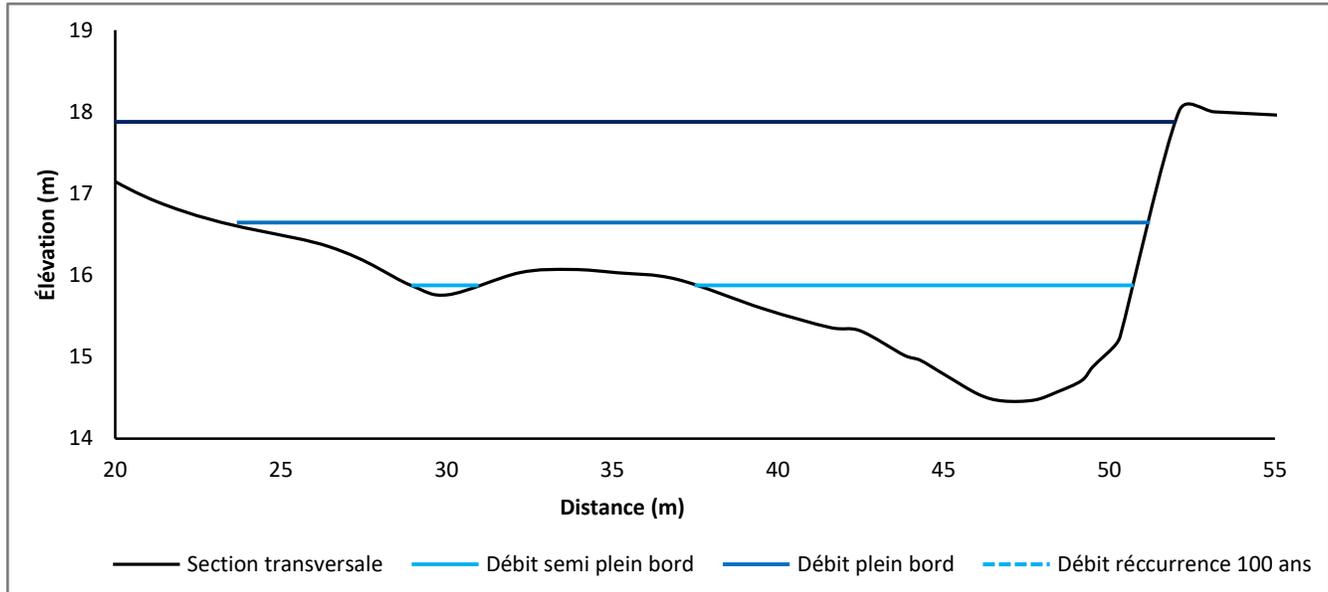
Utilisation du sol : Résidentiel, terrain municipal, ligne haute-tension

Végétation riveraine : Herbacées et quelques sumac

Perturbations : Érosion de la berge concave très prononcée

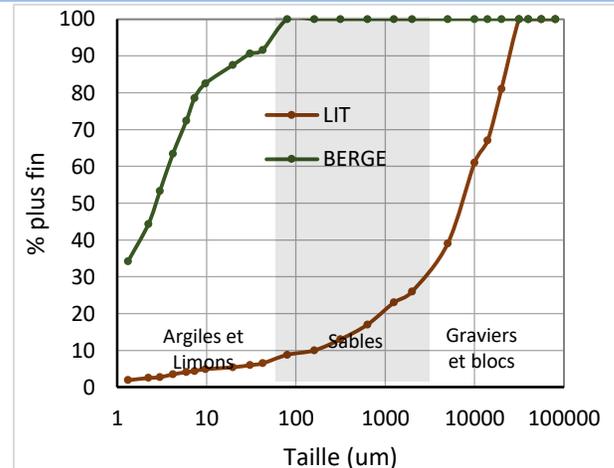
Section transversale - caractéristiques 14.5 m³/s (débit plein bord)

Pente	--	0.0003	Sédiment (lit)	--	Very Coarse Silty Sandy Coarse Gravel
Largeur	m	27.6	n de Manning	--	0.036
Profondeur max	m	2.18	Débit	m ³ /s	14.5
Largeur/Profondeur	--	12.6	Vitesse	m/s	0.51
Encaissement	--	1.7	Puissance	W/m ²	1.75
Pente des berges	°	38	Cisaillement	N/m ²	3.29
Hauteur des berges	m	2.99	Sinuosité	--	1.35



Granulométrie

	LIT	BERGE
Taille des sédiments (um)		
Moyenne	4317.7	3.2
D ₅₀	7071.1	2.7
D ₈₄	21487.2	12.0
D ₉₀	24801.5	28.1
Tri	8.3	3.5
Composition des sédiments (%)		
Argile	2	42
Limon	6	55
Sable	18	3
Gravier	74	0



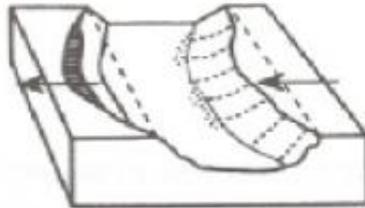
Section: 54.2

Distance, altitude : 2468 m, 14.46 m

Coordonnées: 45.3926, -73.5581

Date : 26/11/2014

Dynamique de la section^{1,2}



Dynamique: Section partiellement confinée, processus de migration latérale dominant, mais présence d'élargissement présent.

Évolution probable : Atteinte d'une largeur stable et évolution progressive du méandres et de la construction du banc d'accumulation.

Conditions critiques pour l'entrainement des particules (D_{50})

Équation	Cisaillement (N/m^2)		Débit (m^3/s)		% du débit plein bord	
	LIT	BERGE	LIT	BERGE	LIT	BERGE
Shields (Fischenisch 2001)	4.8	0.005	20	0.001	138	0
Smerdon & Beasley 1961		3.5		12.2		84
Smerdon & Beasley 1961		2.8		9.1		63
Julian and Torres 2006		22.3		JAMAIS		
Komar 1987	5.1		22		152	

Taille entraînée (mm)

Shields (Cao et al 2006)

Débit semi-plein bord

17.87 mm

Débit plein bord

45 mm

Photos



Commentaires

Section d'écoulement centrale relativement étroite

Présence d'un banc d'accumulation en berge convexe, rare dans le secteur d'étude

Immédiatement à l'aval d'une longue zone de stabilisation de berge par enrochement

Zone de recirculation à l'apex du méandres

Encaissement du thalweg jusqu'à l'argile marine

1. Extrait de Downs, P.W. (1995) Estimating the probability of river channel adjustment. Earth Surface Processes & Landforms, 20, 687-705.

2. Extrait de Brierley, G., Fryirs, K., Outhet, D., & Massey, C. (2002). Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South

Fiche détaillée de section transversale type (1/2)

Projet: 1225

Section: 61.2

Distance, altitude : 2834 m, 15.85 m

Coordonnées: 45.3897, -73.5583

Date : 26/11/2014

Contexte

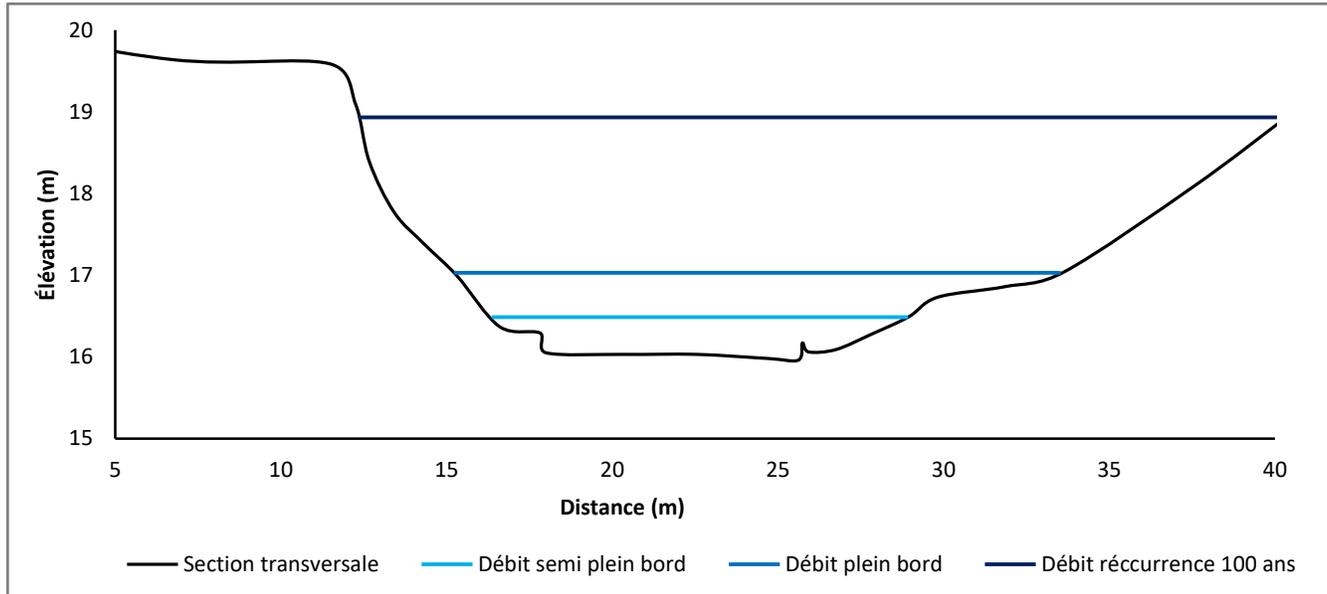
Utilisation du sol : Résidentiel / Industriel / terrains municipaux

Végétation riveraine : Sumac, herbacées

Perturbations : Construction d'un immeuble résidentiel

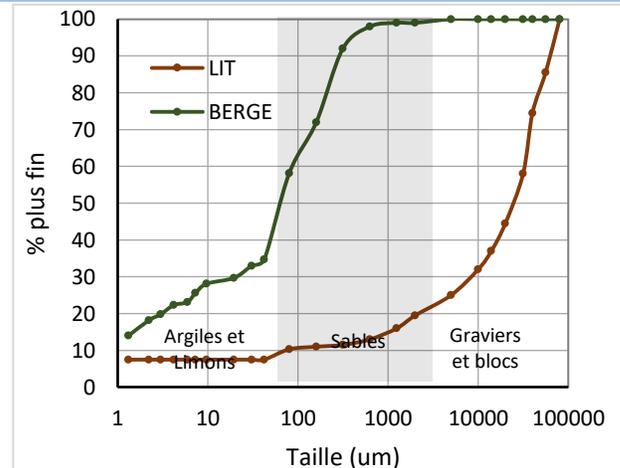
Section transversale - caractéristiques 14.5 m³/s (débit plein bord)

Pente	--	0.0014	Sédiment (lit)	--	Very Coarse Gravel
Largeur	m	18.3	n de Manning	--	0.034
Profondeur max	m	1.07	Débit	m ³ /s	7.4
Largeur/Profondeur	--	17.1	Vitesse	m/s	0.58
Encaissement	--	1.5	Puissance	W/m ²	5.50
Pente des berges	°	23	Cisaillement	N/m ²	4.22
Hauteur des berges	m	3.05	Sinuosité	--	1.35



Granulométrie

	LIT	BERGE
Taille des sédiments (um)		
Moyenne	19856.8	29.7
D ₅₀	30974.5	64.2
D ₈₄	64906.1	240.2
D ₉₀	75228.6	294.4
Tri	3.5	8.8
Composition des sédiments (%)		
Argile	0	17
Limon	2	32
Sable	10	50
Gravier	88	1



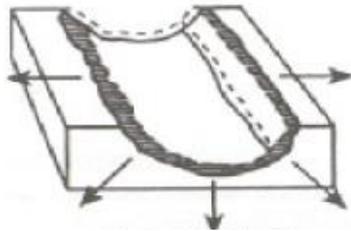
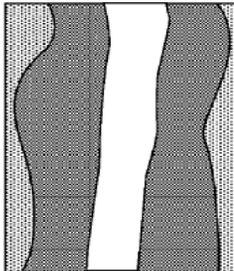
Section: 61.2

Distance, altitude : 2834 m, 15.85 m

Coordonnées: 45.3897, -73.5583

Date : 26/11/2014

Dynamique de la section^{1,2}



Dynamique: Section confinée, déconnectée de sa plaine alluviale, élargissement par érosion des berges actif.

Évolution probable : Atteinte d'une largeur stable avec construction d'une plaine alluviale de part et d'autre du chenal principal. Le chenal semble évoluer vers un tracé plus sinueux.

Conditions critiques pour l'entraînement des particules (D_{50})

Équation	Cisaillement (N/m^2)		Débit (m^3/s)		% du débit plein bord	
	LIT	BERGE	LIT	BERGE	LIT	BERGE
Shields (Fischenisch 2001)	23.5	1.0	82	0.1	1108.11	1.35
Smerdon & Beasley 1961		3.5		1.2		16.22
Smerdon & Beasley 1961		1.0		0.1		1.35
Julian and Torres 2006		12.8		11		148.65
Komar 1987	22.5		68		918.92	

Taille entraînée (mm)

Shields (Cao et al 2006)

Débit semi-plein bord

68.44 mm

Débit plein bord

58 mm

Photos



Commentaires

Section très linéaire avec forme homogène
 Érosion en alternance rive gauche / rive droite
 Début de formation de bancs en alternance
 Dépôt de gravier fin assez mince, pas imbriqué

1. Extrait de Downs, P.W. (1995) Estimating the probability of river channel adjustment. Earth Surface Processes & Landforms, 20, 687-705.

2. Extrait de Brierley, G., Fryirs, K., Outhet, D., & Massey, C. (2002). Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South

Fiche détaillée de section transversale type (1/2)

Projet: 1225

Section: 75.2
 Coordonnées: 45.3883, -73.5550

Distance, altitude : 3092 m, 15.85 m
 Date : 27/11/2014

Contexte

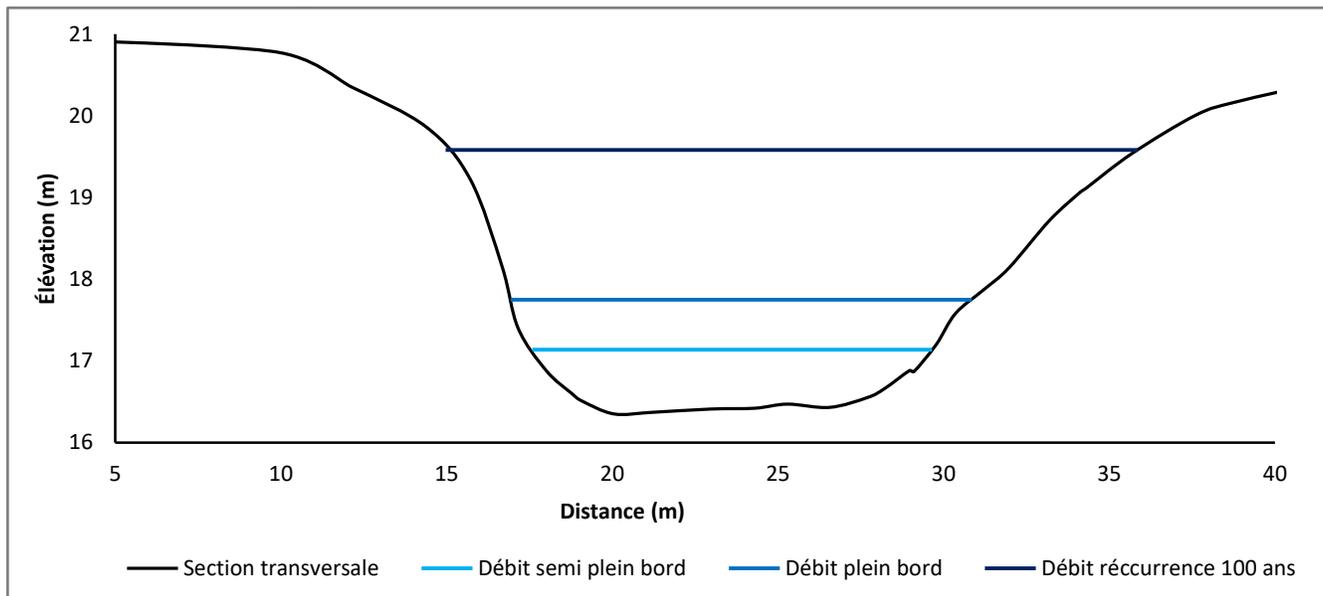
Utilisation du sol : Résidentiel / Industriel

Végétation riveraine : Sumac, frêne

Perturbations : Érosion des berges

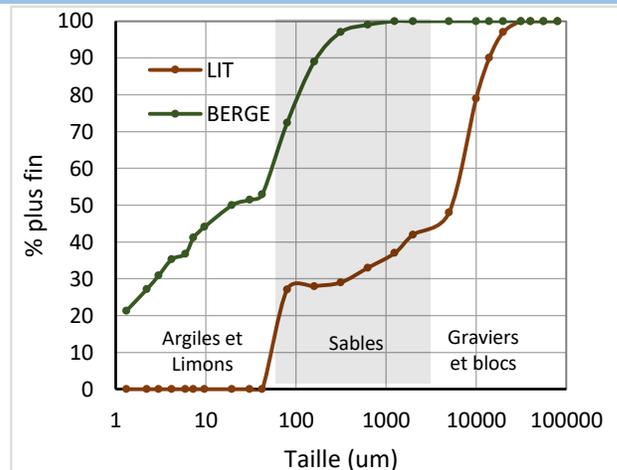
Section transversale - caractéristiques 14.5 m³/s (débit plein bord)

Pente	--	0.0003	Sédiment (lit)	--	Very Coarse Silty Sandy Medium Gravel
Largeur	m	13.9	n de Manning	--	0.033
Profondeur max	m	1.4	Débit	m ³ /s	8.2
Largeur/Profondeur	--	9.9	Vitesse	m/s	0.54
Encaissement	--	1.5	Puissance	W/m ²	1.74
Pente des berges	°	25	Cisaillement	N/m ²	3.1
Hauteur des berges	m	3.83	Sinuosité	--	1.35



Granulométrie

	LIT	BERGE
Taille des sédiments (um)		
Moyenne	1554.4	14.3
D ₅₀	5228.7	19.8
D ₈₄	11652.6	129.9
D ₉₀	14000.0	174.1
Tri	9.1	7.8
Composition des sédiments (%)		
Argile	0	26
Limon	17	39
Sable	25	35
Gravier	58	0



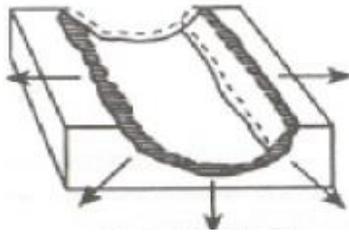
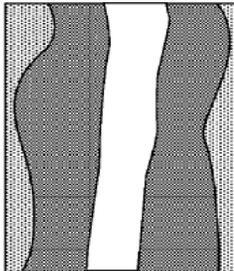
Section: 75.2

Distance, altitude : 3092 m, 15.85 m

Coordonnées: 45.3883, -73.5550

Date : 27/11/2014

Dynamique de la section^{1,2}



Dynamique: Section confinée, déconnectée de sa plaine alluviale, élargissement par érosion des berges actif.

Évolution probable : Atteinte d'une largeur stable avec construction d'une plaine alluviale de part et d'autre du chenal principal. Le chenal semble évoluer vers un tracé plus sinueux.

Conditions critiques pour l'entrainement des particules (D_{50})

Équation	Cisaillement (N/m^2)		Débit (m^3/s)		% du débit plein bord	
	LIT	BERGE	LIT	BERGE	LIT	BERGE
Shields (Fischenisch 2001)	3.6	0.3	1.4	0.01	17.073	0.122
Smerdon & Beasley 1961		3.5		1.3		15.854
Smerdon & Beasley 1961		1.4		0.25		3.0488
Julian and Torres 2006		17.0	1.5	25	18.293	304.88
Komar 1987	3.8					

Taille entraînée (mm)

Shields (Cao et al 2006)

Débit semi-plein bord

17.87 mm

Débit plein bord

43 mm

Photos



Commentaires

Afleurement d'argile à l'occasion
 Dépôt de gravier fin assez mince, pas imbriqué
 Berges très escarpées

1. Extrait de Downs, P.W. (1995) Estimating the probability of river channel adjustment. Earth Surface Processes & Landforms, 20, 687-705.
 2. Extrait de Brierley, G., Fryirs, K., Outhet, D., & Massey, C. (2002). Application of the River Styles framework as a basis for river management in New South

À propos de JFSA

JFSA possède plus de 20 années d'expérience dans le domaine des ressources hydriques. Nous offrons des services de haute qualité et à la fine pointe de la technologie. JFSA s'engage à fournir une expertise professionnelle pour assurer la réussite des mandats qui lui sont confiés. Pour y parvenir, nous nous assurons du respect des valeurs environnementales et sociales ainsi que des réalités économiques qui caractérisent chaque projet.

Des renseignements supplémentaires sur JFSA et ses services sont disponibles au www.jfsa.com.



JFSA inc.

JFSA inc.
2368 Saint-Louis, bureau 101
Gatineau (Québec) J8V 1A1
Tél : 819.243-6858
Télec. : 819.243-8194
www.jfsa.com

