

SUIVI HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE DE LA RIVIÈRE À MARS, Ville de Saguenay arrondissement de La Baie (Québec)

RAPPORT TECHNIQUE



PRÉPARÉ PAR

L'ORGANISME DE BASSIN VERSANT DU SAGUENAY

ET

LE COMITÉ DE BASSIN DE LA RIVIÈRE À MARS



ORGANISME DE
BASSIN VERSANT
DU SAGUENAY



VILLE DE SAGUENAY

NOVEMBRE 2014

« Ceux qui connaissent bien le passé sont les mieux à même de construire le futur »

Bernard Werber; Les Thanatonautes (1994

Équipe de réalisation

Comité de bassin de la rivière à Mars (COBRAM)

Organisme de bassin versant du Saguenay (OBV Saguenay)

Coordination, planification et révision

Marco Bondu, directeur général, OBV Saguenay

Geneviève Brouillet-Gauthier, Chargée de projets, OBV Saguenay

Johan Bérubé, Chargé de bassin, COBRAM

Récolte et traitement des données, rédaction, cartographie

Johan Bérubé, Chargé de bassin, COBRAM

Jean-Dominic Gravel, Technicien en environnement, OBV Saguenay

Correctrice

Maude Lemieux-Lambert, Secrétaire de direction, OBV Saguenay

Partenaire financier

Service Canada

Remerciements

Le Comité de bassin de la rivière à Mars et l'Organisme de bassin versant du Saguenay tiennent à remercier les organisations suivantes pour leur précieuse collaboration au projet :

- L'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC);
- Service de géomatique de la Ville de Saguenay.

Références à citer

ORGANISME DE BASSIN VERSANT DU SAGUENAY, 2014. *Suivi hydrogéomorphologique de la rivière à Mars, Ville de Saguenay arrondissement de La Baie (Québec)*, Ville de Saguenay, 56 pages.

AVANT-PROPOS

Le bassin versant de la rivière à Mars a été désigné en tant que bassin versant prioritaire à la suite de la mise en œuvre de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant (GIEBV) découlant de l'adoption de la Politique nationale de l'eau. Depuis cette réforme, le Comité de bassin de la rivière à Mars (COBRAM) a eu pour mandat d'y implanter la GIEBV sous la forme d'un Plan directeur de l'eau (PDE) conçu en concertation avec les différents acteurs locaux. Le PDE a été élaboré en fonction des réalités physiques, biologiques, humaines du bassin versant couplées aux problématiques locales en lien avec l'eau, ainsi qu'aux préoccupations des acteurs de l'eau et de la population. Le COBRAM est également responsable de la mise en œuvre, de la mise à jour, ainsi que du suivi du PDE.

L'érosion des berges et du lit de la rivière à Mars ainsi que des changements géomorphologiques au niveau de son **lit mineur** ont été constatés par les utilisateurs de la rivière, de même que lors d'une étude de caractérisation des bandes riveraines effectuée en 2013 (OBV Saguenay, 2013). Cette problématique affecte de près ou de loin plusieurs enjeux importants ressortis dans le PDE, tels que la qualité de l'eau, les écosystèmes aquatiques et riverains et la sécurité civile. Davantage de connaissances sont requises afin de mieux comprendre la relation entre les processus **morphogènes**, **l'équilibre dynamique** de la rivière à Mars et des enjeux prioritaires ressortis par le PDE

GLOSSAIRE

Aggradation : Accumulation verticale de sédiments dans le lit ou à proximité d'un cours d'eau survenant lorsque la taille des sédiments excède la capacité de transport de l'écoulement de la rivière.

Approche par ingénierie : Mode de gestion des plans d'eau priorisant le génie et la structure afin de répondre à une problématique de gestion.

Approche par espace de liberté : Mode de gestion de rivières priorisant la liberté de mobilité latérale d'une rivière afin qu'elle puisse tendre constamment vers **l'équilibre dynamique**.

Assemblage géomorphologique : Ensemble de caractéristiques géomorphologiques déterminant une forme homogène dans l'axe longitudinal d'un cours d'eau à l'échelle du **segment** ou du **tronçon**. Ces caractéristiques géomorphologiques sont notamment la pente et la forme du lit, la profondeur de l'écoulement et la taille des sédiments.

Corridor de liberté : Voir **espace de liberté**

Équilibre dynamique : État d'équilibre dans lequel les composantes sont constamment en réajustements (soit par de l'érosion, des accumulations, des changements dans la pente ou dans les formes du lit) face aux stress engendrés par des processus naturels ou anthropiques.

Espace de liberté : Corridor délimité où la rivière est libre de se réajuster vers un état d'**équilibre dynamique**.

Fluvial : Terme désignant les processus associés à des rivières et cours d'eau (c'est-à-dire l'eau sous toute forme d'écoulement), ainsi qu'aux dépôts et les reliefs créés par eux. Lorsque les rivières sont associées à des glaciers ou des calottes glaciaires, le terme fluvio-glaciaire est utilisé.

Dynamique morphosédimentaire : Dynamique expliquant les processus d'érosion, de transport sédimentaire et d'accumulation responsables des formes présentes dans le paysage.

Géométrie planimétrique : Géométrie des surfaces planes.

Hydraulique : Terme désignant l'ensemble des conditions affectant l'énergie fournie par l'eau (par exemple, la vitesse et la profondeur de l'écoulement, la rugosité, la résistance à l'écoulement) et, par conséquent, les processus d'érosion, de transport et d'accumulation des sédiments.

Hydrogéomorphologie (HGM) : Science qui étudie la complexité des formes, des processus et des rétroactions des cours d'eau selon une gamme d'échelles variant de la section transversale du chenal à l'échelle du bassin versant.

Hydrogéomorphologique (HGM) : Qui se rapporte à l'**hydrogéomorphologie**.

Hydrologique : Terme associé au cycle de l'eau ainsi qu'aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et son sous-sol affectant les flux (ces flux étant notamment les débits, le synchronisme des crues, la réponse **hydrologique**) et les transferts des eaux de surface.

Incision : Érosion du lit qui abaisse l'altitude du cours d'eau, altérant la pente et pouvant mener à la canalisation de l'écoulement.

Lit mineur : Portion de la structure **hydrogéomorphologique** délimitant les limites de l'écoulement plein-bord (ou hautes eaux).

Lit moyen : Portion de la structure **hydrogéomorphologique** délimitant les limites des crues récurrentes.

Lit majeur : Portion de la structure **hydrogéomorphologique** délimitant les limites des crues exceptionnelles.

Morphogène : Terme associé à des conditions **hydrologiques** influençant la capacité de transport de l'écoulement et responsables des processus d'érosion, de transport et d'accumulation. Cela découle en un changement dans les formes du **lit mineur** de la rivière.

Plaine alluviale (ou plaine inondable) : Fond de vallée composé d'alluvions (autrement dit, les sédiments transportés par les crues) adjacent à un cours d'eau qui est inondé périodiquement par les crues.

Segment : Terme désignant une petite portion longitudinale du **lit mineur** relativement homogène (par exemple, un méandre, une séquence rapide-fosse ou un rapide).

Style fluvial : Forme générale du lit de la rivière présentant une homogénéité longitudinale dans la pente, dans les formes du lit et dans la **dynamique morphosédimentaire** à l'échelle du **tronçon**.

Système fluvial : Système regroupant tous les processus, agents, formes et structures constituant la dynamique **fluviale**.

Talweg : Portion de la section transversale d'une vallée où l'altitude y est la plus basse. On y retrouve généralement un chenal où l'eau s'y écoule longitudinalement.

Tronçon : Terme désignant une portion longitudinale du **lit mineur** relativement homogène. Le **tronçon** est généralement composé de plusieurs **segments** et, par conséquent, s'étend sur une plus longue distance que le **segment** (on peut penser par exemple à une séquence de méandres ou de sinuosités). Dans cette étude, on entendra par « **tronçon** » le secteur de la rivière à Mars situé entre le pont du Bec-Scie et son embouchure dans la rivière Saguenay.

Unité morphodynamique (UMD) : Assemblage de formes **fluviales** et alluviales présentant une homogénéité longitudinale de la pente, de la taille des sédiments spécifiques aux processus **morphogènes** ainsi qu'aux caractéristiques physiques des berges. Les échelles peuvent varier de grande à petite.

RÉSUMÉ

L'érosion des berges est le résultat d'une complexité d'interactions entre les processus **morphogènes**, qui affectent les conditions **hydrauliques** locales, et les caractéristiques physiques des berges, qui déterminent la résilience des berges. Ces deux éléments varient énormément dans l'espace et dans le temps. L'érosion des berges représente fréquemment un défi dans la gestion des risques naturels dans les vallées alluviales. Les travaux anthropiques réalisés sur les rivières afin de contrôler le chenal et d'optimiser les activités humaines sur le territoire créent également leur lot de conséquences. Ces pratiques, très utilisées par le passé, ne sont toutefois pas durables et elles ont des conséquences sur la morphologie du **lit mineur**. Ces pratiques récurrentes alimentent la croyance populaire qu'une rivière ne devrait pas être mobile dans la **plaine alluviale**.

La présence de plusieurs **segments** en érosion a été observée sur la rivière à Mars. L'érosion généralisée des berges meubles, généralement observée dans la portion alluviale de la rivière à Mars, incite à adapter le mode de gestion de la rivière afin de réduire les risques associés à l'aléa d'érosion des berges ou les conflits induits par cet aléa. De plus, aucune information n'est actuellement disponible sur l'état d'équilibre des berges et du **lit mineur** de la rivière à Mars. L'objectif général de ce projet a été d'évaluer l'état de l'**équilibre dynamique** du **lit mineur** de la rivière à Mars dans un secteur situé entre le pont du Bec-Scie jusqu'à l'embouchure de celle-ci dans la rivière Saguenay. Une approche historique a été réalisée à partir de photographies aériennes et d'orthophotographies pour la période de 1976 à 2013. Le suivi **hydrogéomorphologique** et le portrait actuel du **lit mineur** ont montré plusieurs perturbations de l'**équilibre dynamique** de la rivière de diverses natures. Plusieurs crues **morphogènes**, dont le déluge du Saguenay de 1996, la construction d'infrastructures statiques dans le **lit mineur** et les travaux réalisés à la suite du déluge ont provoqué la déstabilisation de l'état d'équilibre. L'ampleur de la déstabilisation se reflète par l'intensité des processus érosifs actuels observés le long des berges du **tronçon** à l'étude. Plusieurs éléments

freinant le réajustement des **segments** vers l'**équilibre dynamique** ont été ressortis. Les évènements de crues ainsi que la présence de plusieurs types d'infrastructures statiques altérant la dynamique morphodynamique ont créé de nouvelles perturbations potentielles ralentissant le retour vers l'état d'équilibre.

Un **corridor de liberté** préliminaire est proposé dans cette étude afin de permettre au **lit mineur** de se déplacer librement dans un **espace de liberté** afin d'atteindre à nouveau l'état d'équilibre. La déstabilisation à long terme de l'**équilibre dynamique** pourrait avoir des conséquences majeures (i) sur l'intégrité du cours d'eau en raison de la perte de résilience du **lit mineur** face aux processus érosifs, de la capacité d'atténuation de l'énergie de l'écoulement et des nombreux services écologiques apportés par la dynamique **fluviale**; (ii) la sécurité civile et l'économie en raison de l'exacerbation des inondations, des risques d'érosion **fluviale**, des dommages matériels et des conséquences économiques; mais également (iii) sur les enjeux prioritaires visés par le plan directeur de l'eau de la rivière à Mars.

L'**approche par espace de liberté** nécessite toutefois davantage de connaissances sur le territoire concerné afin d'appliquer adéquatement ce mode de gestion de plus en plus populaire dans la gestion des rivières.

Table des matières

ÉQUIPE DE RÉALISATION.....	I
PARTENAIRE FINANCIER	I
REMERCIEMENTS	I
RÉFÉRENCES À CITER.....	I
AVANT-PROPOS	II
GLOSSAIRE.....	III
RÉSUMÉ	VI
TABLE DES MATIERES	VIII
LISTE DES CARTES	X
LISTE DES FIGURES	X
LISTE DES TABLEAUX	XI
INTRODUCTION.....	1
Cadre théorique	1
Structure hydrogéomorphologique d'une vallée alluviale	1
Dynamique morphosédimentaire et équilibre dynamique	3
Problématique	6
Objectifs.....	8
1. MÉTHODOLOGIE	9
1.1 Région à l'étude	9
1.1.1 Contexte géographique.....	9
1.1.2 Contexte hydrogéomorphologique.....	10
1.1.3 Secteur à l'étude.....	13
1.2 Suivi hydrogéomorphologique.....	17
1.3 Caractérisation physique des berges	17
1.4 Cadre d'analyse.....	18
1.4.1 Équilibre dynamique	18
1.4.2 Espace de liberté et segments d'intervention prioritaire	18
2. SUIVI HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE.....	19
2.1 Évolution du lit mineur.....	19
2.1.1 Période prédéluge.....	19
2.1.2 Période postdéluge	20
2.1.3 Conditions hydrologiques.....	30
2.2 Portrait actuel du tronçon à l'étude	32
2.2.1 Contexte hydrogéomorphologique actuel.....	32

2.2.2 Infrastructures	33
3. DISCUSSION	38
3.1 Évolution du lit mineur.....	38
3.1.1 Période prédéluge.....	38
3.1.2 Période postdéluge	39
3.2 Dynamique morphosédimentaire	44
3.3 Espace de liberté	46
3.4 Segments d'intervention prioritaire.....	49
CONCLUSION.....	54
RÉFÉRENCES.....	58

Liste des cartes

Carte 1.1 Localisation du bassin versant de la rivière à Mars et du secteur à l'étude.	12
Carte 1.2 Répartition spatiale des dépôts de surface dans le secteur à l'étude.	16
Carte 2.1 Suivi hydrogéomorphologique de 1976 à 2013.....	22
Carte 2.2 Géométrie planimétrique du lit mineur pour les années 1976 et 1996.	23
Carte 2.3 Géométrie planimétrique du lit mineur pour les années 1996 et 1998.	24
Carte 2.4 Géométrie planimétrique du lit mineur pour les années 1998 et 2005.	25
Carte 2.5 Géométrie planimétrique du lit mineur pour les années 2005 et 2007.	26
Carte 2.6 Géométrie planimétrique du lit mineur pour les années 2007 et 2008. ..	27
Carte 2.7 Géométrie planimétrique du lit mineur pour les années 2008 et 2010.	28
Carte 2.8 Géométrie planimétrique du lit mineur pour les années 2010 et 2013.	29
Carte 2.9 Localisation des infrastructures présentes dans le lit mineur de la rivière à Mars dans les unités morphodynamiques 1, 2 et 3.....	36
Carte 2.10 État des berges du secteur à l'étude et des unités morphodynamiques 1,2 et 3	37
Carte 3.1 Amplitude du lit mineur pour trois périodes; géométrie planimétrique du lit mineur actuel (2013) et dépôts meubles dans le secteur à l'étude	48

Liste des figures

Figure 0.1 Structure hydrogéomorphologique d'une vallée alluviale	2
Figure 0.2 Évolution de la structure hydrogéomorphologique d'une vallée alluviale	3
Figure 0.3 Balance de Lane	4
Figure 0.4 Effet de la linéarisation du chenal sur la section transversale du lit mineur (gauche) et de la géométrie planimétrie (droite).....	6
Figure 2.1 Débits quotidiens moyens pour la période postdéluge (1998-2014).....	31
Figure 2.2 Exemples de berges en érosion dans l'UMD 2	33

Figure 2.3 Exemples d'infrastructures présentes dans le lit mineur de la rivière à Mars	34
---	----

Liste des tableaux

Tableau 1.1 Affectations du territoire du bassin versant de la rivière à Mars	10
Tableau 1.2 Description des unités morphodynamiques (UMD).....	15

Introduction

Cadre théorique

Structure hydrogéomorphologique d'une vallée alluviale

La structure **hydrogéomorphologique (HGM)** d'une vallée se définit par les **assemblages géomorphologiques** issus de processus **morphogènes** de natures diverses (par exemple, le processus **fluvial**, gravitaire ou côtier). La composition de la structure est influencée par la localisation, l'historique et les conditions hydroclimatiques des vallées alluviales (voir **plaine alluviale**). Par exemple, la structure **hydrogéomorphologique** d'une vallée en climat tempéré froid ayant subi une succession de glaciation-déglaciation possédera un héritage glaciaire riche, de même qu'un régime **hydrologique** caractérisé par la présence de crues **morphogènes** au printemps. Les caractéristiques des assemblages permettent de retracer l'historique de la vallée alluviale et l'évolution de la **plaine alluviale** (Demers *et al.*, 2014). La **plaine alluviale** est, d'une part, formée par l'accumulation et le stockage de sédiments apportés par les inondations et, d'autre part, par les processus érosifs engendrés par la dynamique **fluviale**. Elle est ainsi le résultat des processus fluviaux à long terme (Nanson et Croke, 1992).

La figure 0.1 illustre une vallée façonnée par les processus fluviaux où l'on retrouve (i) d'anciennes terrasses mises en place par des écoulements fluvio-glaciaires; (ii) un **lit majeur** (L3) qui correspond à la **plaine alluviale** de crues exceptionnelles; (iii) le **lit moyen** (L2), ou **plaine alluviale** fonctionnelle, qui se définit comme la **plaine alluviale** des crues récurrentes; (iv) le **lit mineur** (L1) dont les limites sont définies par la limite des hautes eaux de la rivière; et (v) le chenal, ou **talweg**, correspondant au point le plus bas de la vallée, où la rivière s'écoule généralement.

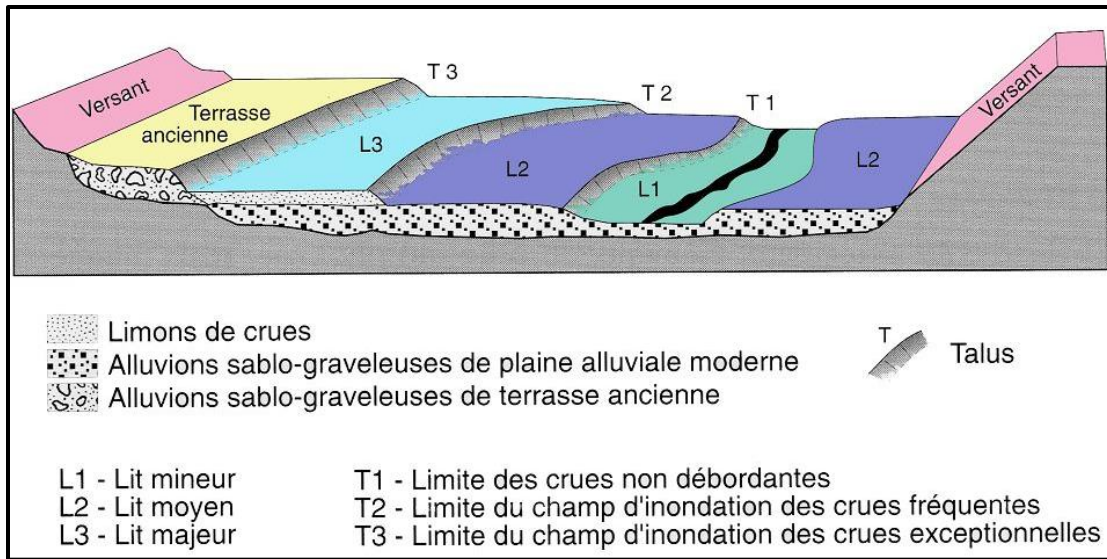


Figure 0.1 Structure **hydrogéomorphologique** d'une vallée alluviale (source : Masson *et al.*, 1996)

Néanmoins, cette structure n'est pas statique dans le temps et dans l'espace en raison des processus **morphogènes** qui façonnent continuellement les **assemblages géomorphologiques** présents dans la vallée.

La figure 0.2 illustre les effets à long terme des processus fluviaux (notamment l'élargissement du **lit mineur**, l'**incision** et la migration latérale du chenal) sur la structure **hydrogéomorphologique** d'une vallée alluviale. L'**incision** de la plaine provoque la formation de terrasses de part et d'autre du **lit moyen**. Chaque terrasse **fluviale** correspond à d'anciennes plaines alluviales ayant été incisées par la rivière à différents niveaux d'altitude (figure 0.2A). Les terrasses **fluviales** peuvent être détruites complètement ou partiellement par l'érosion provenant de la migration latérale du chenal de part et d'autre de la **plaine alluviale**. Cela explique les fragments de terrasse présents dans la figure 0.2.B à différentes altitudes, ainsi que l'asymétrie des terrasses de part et d'autre du **lit mineur**. Les processus fluviaux influençant l'évolution de la structure **hydrogéomorphologique** et, plus spécifiquement, de la **plaine alluviale** apportent leur lot de conséquences dans la gestion des rivières, et ce, particulièrement, lorsque l'activité anthropique est fortement présente sur la **plaine alluviale**. Les processus fluviaux façonnant la **plaine alluviale** sont alimentés par les changements

dans la **dynamique morphosédimentaire** qui perturbe l'**équilibre dynamique** du lit mineur.

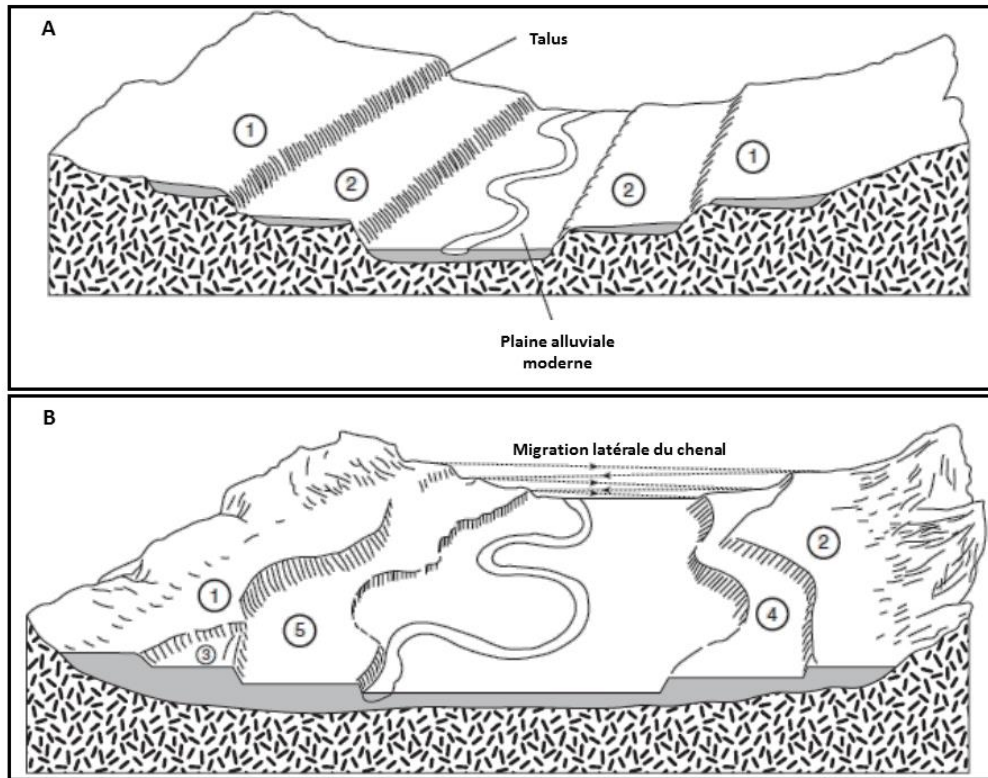


Figure 0.2 Évolution de la structure **hydrogéomorphologique** d'une vallée alluviale : (A) terrasses jumelées à l'état initial dont les numéros correspondent à l'ordre de leur formation; (B) effet de l'évolution du **lit mineur** sur l'état initial (figure adaptée de Charlton, 2008).

Dynamique morphosédimentaire et équilibre dynamique

L'intensité des changements géomorphologiques survenant dans la structure **hydrogéomorphologique** dépend de l'état d'**équilibre dynamique** de la rivière. L'**équilibre dynamique** est un concept, en géomorphologie, se référant à l'ajustement mutuel et constant d'un bassin versant face aux changements géomorphologiques et **hydrologiques** permettant d'atteindre un état d'efficacité optimal ainsi qu'une forme d'érosion moindre (Hupp *et al.*, 2010; Vermont Rivers Management Program (VRMP), 2011). Le terme dynamique est important, car l'énergie de l'écoulement maintient, ou tente constamment de réajuster le chenal vers cet état. Les processus de réajustement

peuvent s'échelonner sur plusieurs décennies dépendamment des activités anthropiques et des changements géomorphologiques considérables qui peuvent survenir (VRMP, 2011). Chaque bassin versant possède des caractéristiques uniques définissant l'état d'équilibre et ce, qu'il y ait une présence accrue d'activités anthropiques ou une absence totale de ces activités (Kline *et al.*, 2006; Charlton, 2008; VRMP, 2011). Les caractéristiques des formes **fluviales** entretiennent l'état d'équilibre, et ce, même si des processus **morphogènes** surviennent de manière récurrente. La balance de Lane (1955), illustrée dans la figure 0.3, met en relation les diverses caractéristiques physiques et les conditions **hydrologiques** qui influencent l'état d'équilibre d'une rivière.

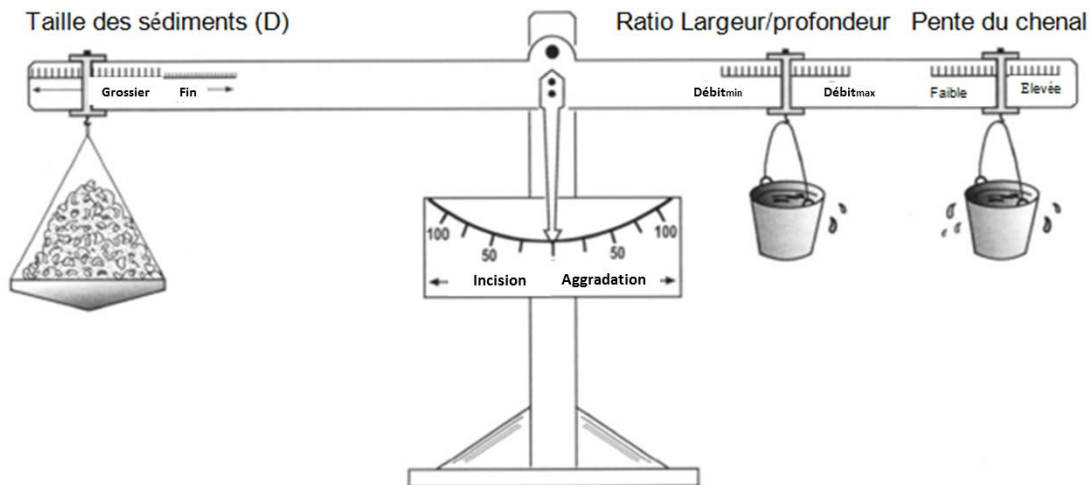


Figure 0.3 Balance de Lane (adaptée de Lane, 1955)

Selon le Vermont Rivers Management Program (2011), le réajustement de la rivière est conduit par l'interaction de quatre processus **fluviaux** influencés par les éléments de la balance de Lane (1955). Le premier est l'**incision** du chenal, ou l'érosion verticale, qui provoque des changements dans la pente et l'**incision** du chenal dans la **plaine alluviale**. Le second processus est l'**aggradation** qui consiste à l'élévation du lit par l'accumulation de sédiments. L'**aggradation** est généralement causée par l'augmentation de la charge en sédiments ou par la réduction des conditions **hydrauliques** locales (par exemple la réduction du débit, de la pente, ou encore, la construction d'infrastructures statiques).

Ces facteurs mènent à la perte de compétence de l'écoulement qui provoque l'accumulation de sédiments. Le troisième processus en interaction est l'élargissement du **lit mineur** qui est généralement causé par la canalisation d'écoulement puissant dans un chenal incisé survenant généralement dans un **segment** linéaire. Les berges abruptes et instables résultant de l'**incision** du chenal canalisent l'écoulement en raison de la perte d'accès de ce dernier à la **plaine alluviale**. L'érosion créée par la canalisation provoque l'élargissement du **lit mineur** jusqu'à l'éventuel retour vers l'état d'**équilibre dynamique** (figures 0.2 et 0.4). Et finalement, le changement de la **géométrie planimétrique** du **lit mineur**, quatrième processus **fluvial**, est généralement associé à un réajustement vers l'**équilibre dynamique** par l'augmentation ou la réduction de la pente.

Plusieurs facteurs de perturbation peuvent engendrer des changements dans l'**équilibre dynamique**, tels des événements **morphogènes** de grandes amplitudes (des crues importantes, des glissements de terrain, ou encore des tremblements de terre) ou des altérations anthropiques (des constructions d'infrastructures statiques dans le **lit mineur**, la linéarisation du chenal, etc.) (figure 0.4). Les rivières subissant une déstabilisation sont sujettes à des changements géomorphologiques et, généralement, rapides (Hupp *et al.*, 2010).

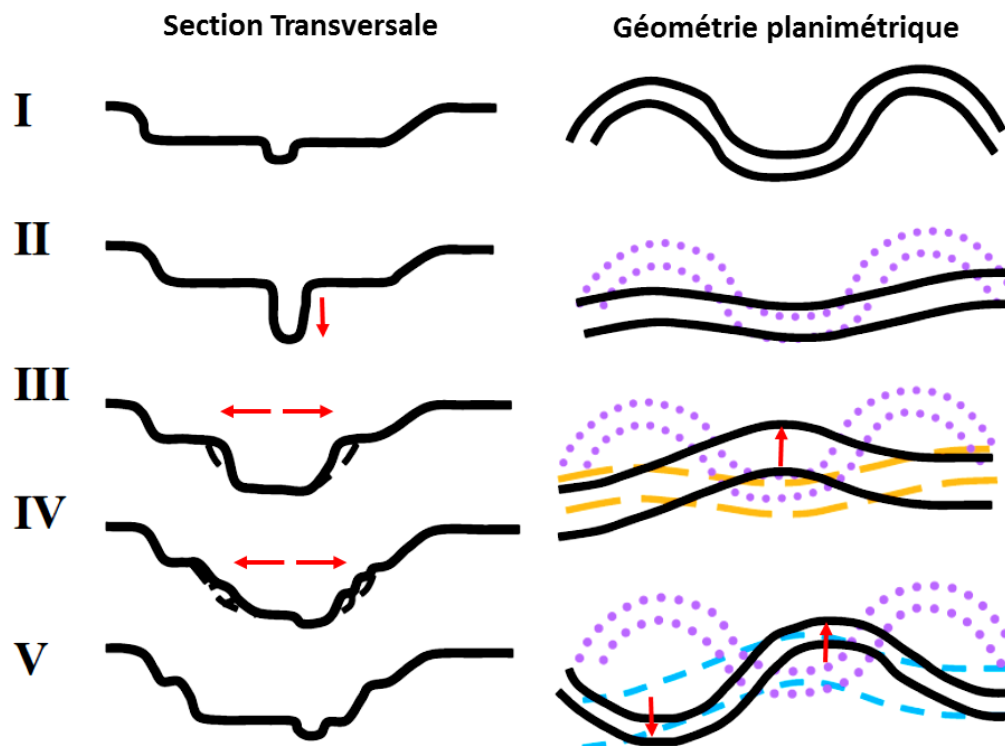


Figure 0.4 Effet de la linéarisation du chenal sur la section transversale du **lit mineur** (gauche) et de la géométrie planimétrique (droite). Les flèches rouges illustrent les changements géomorphologiques : (I) état initial à l'état d'**équilibre dynamique**; (II) **incision** du chenal à la suite de la linéarisation; (III-IV) élargissement du chenal et reprise de la sinuosité; (V) rétablissement de la **plaine alluviale** et reprise de l'état d'**équilibre dynamique** (adaptée de Kline *et al.*, 2006).

Problématique

L'érosion des berges est le résultat d'une complexité d'interactions entre les processus **morphogènes** affectés par les conditions **hydrauliques** locales et les caractéristiques physiques des berges déterminant la résilience des berges. Ces deux éléments varient énormément dans l'espace et dans le temps. Cela explique la variation spatiale et l'amplitude des événements **morphogènes** pouvant varier de quelques centimètres par année à un kilomètre dans les rivières sableuses de la plaine indogangétique (Piégay *et al.*, 2005).

L'érosion des berges représente fréquemment un défi dans la gestion des risques naturels dans les vallées alluviales (Lawler, 1993). Les processus érosifs réintroduisent une grande quantité de sédiments dans le cours d'eau, altèrent les habitats aquatiques

et riverains et peuvent réacheminer d'anciens contaminants ensevelis dans la **plaine alluviale** dans le **système fluvial** (Hupp *et al.*, 2010). Cependant, ces arguments sont parfois utilisés à mauvais escient par les propriétaires riverains afin de stabiliser des berges où les véritables enjeux concernent les terres ou la propriété de ces derniers (Kline *et al.*, 2006). Les travaux anthropiques réalisés sur les rivières afin de contrôler le chenal et d'optimiser les activités humaines sur le territoire créent également leur lot de conséquences. La linéarisation du chenal est reconnue pour maximiser l'utilisation des terres dans une vallée alluviale. Toutefois, ce type d'intervention a également pour effet d'augmenter le ruissellement de surface et les vitesses d'écoulement en raison de la diminution de la résistance à l'écoulement causée par la présence de sinuosités ou de méandres. Ces pratiques, très utilisées par le passé, ne sont toutefois pas durables et elles ont des conséquences sur la morphologie du **lit mineur**. La figure 0.4 illustre l'évolution du **lit mineur** d'un **segment** qui a été linéarisé. La stabilisation des berges a également été populaire en raison de son efficacité immédiate. Néanmoins, cette pratique peut accentuer les processus érosifs ou les déplacer vers l'amont ou vers l'aval. Ces pratiques récurrentes alimentent la croyance populaire qu'une rivière ne devrait pas être mobile dans la **plaine alluviale** (Kline *et al.*, 2006).

Les impacts des processus érosifs sur la perte de terrains, de ressources, de profits potentiels et les dommages causés aux propriétés ainsi qu'aux infrastructures expliquent la généralisation de la perception négative face à l'aléa d'érosion dans la littérature (Piegay *et al.*, 1997). Malgré les efforts et l'argent investi pour stabiliser et linéariser le **lit mineur**, les processus d'érosion, les apports en nutriments et en contaminants provenant de l'apport en sédiments ont augmenté et la dégradation des habitats riverains et aquatiques persiste (Kline *et al.*, 2006).

La présence de plusieurs **segments** en érosion a été observée sur la rivière à Mars, généralement dans sa portion alluviale, par les utilisateurs du cours d'eau et lors d'une campagne de terrain dans le cadre d'un projet de caractérisation des berges (OBV Saguenay, 2013). L'érosion généralisée des berges meubles du secteur étudié incite à

adapter le mode de gestion de la rivière afin de réduire les risques ou les conflits induits par cet aléa. De plus, aucune information n'est actuellement disponible sur l'état des berges et du **lit mineur** de la rivière à Mars. Afin d'évaluer l'état de l'équilibre du **lit mineur** et la possibilité de délimiter un **corridor de liberté**, un suivi **hydrogéomorphologique** a été effectué dans le **tronçon** problématique situé dans la portion **alluviale** (voir **plaine alluviale**) de la rivière à Mars.

Le tronçon de la rivière en question s'avère un endroit idéal pour effectuer un suivi **hydrogéomorphologique** et pour délimiter un **corridor de liberté** en raison (i) de l'accessibilité à des séries temporelles de photographies aériennes remontant jusqu'à 1976; (ii) de l'occurrence d'une crue centenaire causant une perturbation majeure dans l'**équilibre dynamique** (soit le déluge du Saguenay de 1996); (iii) de la quantité négligeable de travaux majeurs effectués dans le **lit mineur** (par exemple des travaux changeant le trajet de la rivière, du dragage ou encore de la stabilisation des berges par muret ou par enrochement); (iv) de la présence et de l'importance des activités anthropiques; et (v) de la faible densité de population.

Objectifs

L'objectif général de ce projet a été d'évaluer l'état de l'**équilibre dynamique** du **lit mineur** de la rivière à Mars dans le secteur situé entre le pont du Bec-Scie jusqu'à son embouchure. Trois objectifs spécifiques ont été ressortis afin de parvenir à cette fin :

- Faire le suivi **hydrogéomorphologique** de la rivière à Mars afin d'acquérir de l'information sur l'évolution du **lit mineur** et sur les tendances évolutives;
- Dresser un portrait actuel des éléments influençant la **dynamique morphosédimentaire** et l'**équilibre dynamique** du **lit mineur**;
- Délimiter un **corridor de liberté** préliminaire et localiser les **segments** d'intervention prioritaire à partir de l'information acquise.

1. Méthodologie

1.1 Région à l'étude

1.1.1 Contexte géographique

Le bassin versant de la rivière à Mars est situé sur la rive sud de la rivière Saguenay et chevauche les régions administratives du Saguenay–Lac-Saint-Jean et de la Capitale-Nationale (carte 1.1). Le bassin versant forme un long corridor étroit entre les bassins versants des rivières du Moulin et Ha!Ha! et comporte un important rétrécissement dans sa portion médiane. La superficie du bassin versant couvre 664 km² et draine principalement le territoire non organisé de la Réserve Faunique des Laurentides (66 %), des arrondissements de La Baie (24 %) et de Chicoutimi (4 %) de la Ville de Saguenay et de la Municipalité Ferland-et-Boilleau (6 %) (carte 1.1; OBV Saguenay, 2013).

Le tableau 1.1 illustre une affectation du territoire majoritairement forestière (43,3 %), ainsi qu'une grande portion d'affectation inconnue (44,1 %). Cette dernière représente la section du bassin versant localisée à l'extérieur de la région administrative du Saguenay–Lac-Saint-Jean. Les affectations agricole (4,3 %), agroforestière (4,2 %), industrielle (1,6 %), publique (1,0 %), urbaine (0,8 %) et récréative (0,4 %) caractérisent également le territoire du bassin versant de la rivière à Mars.

Tableau 1.1 Affectations du territoire du bassin versant de la rivière à Mars (adapté de OBV Saguenay, 2013)

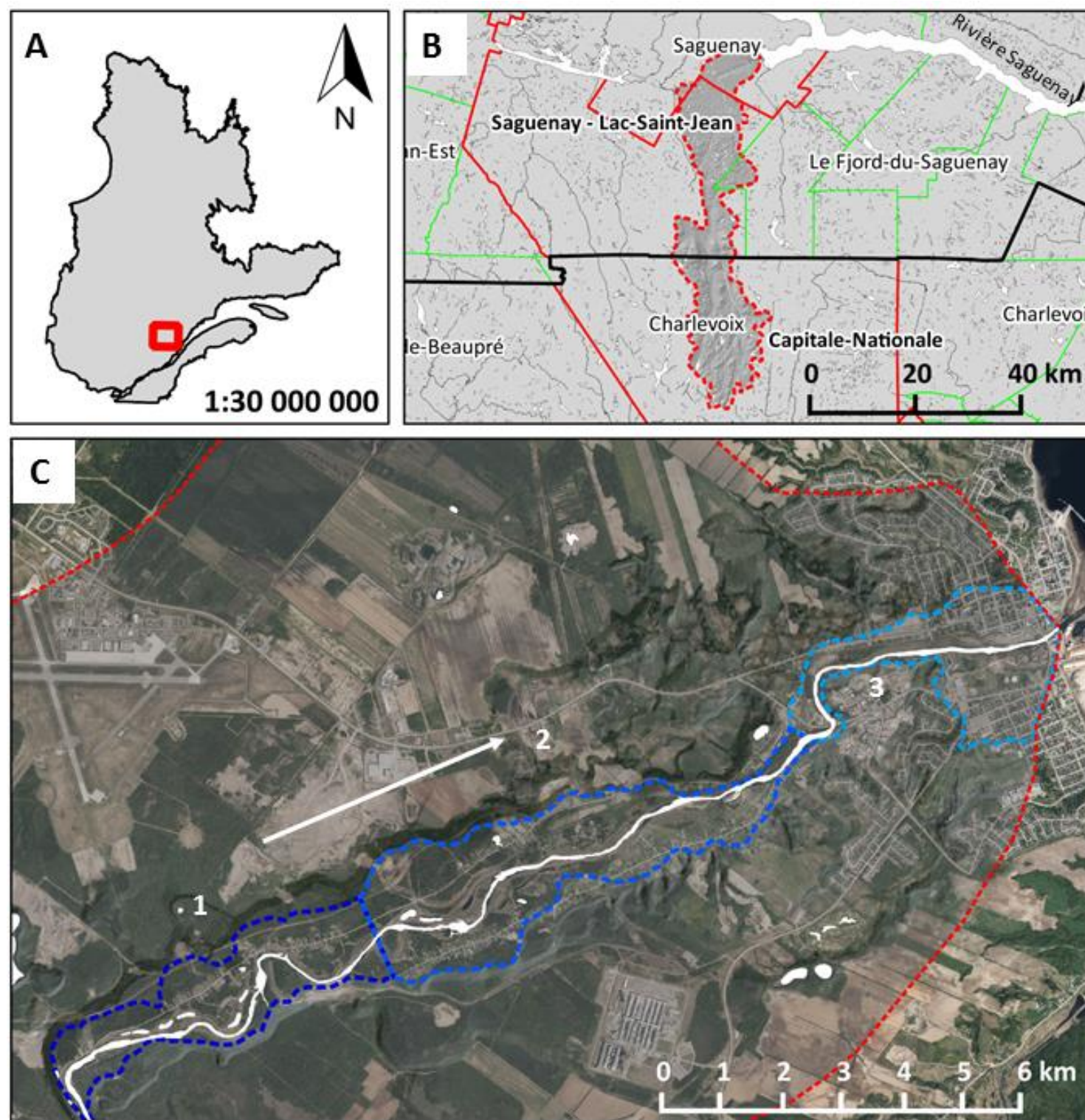
Affectations (Thèmes provinciaux)	Superficie	
	(km²)	%
Agricole	28,51	4,3
Agroforestière	27,95	4,2
Commerciale	0,24	0,1
Conservation	1,37	0,2
Forestière	289,82	43,3
Récréative	2,72	0,4
Urbaine	5,66	0,8
Publique	6,88	1
Industrielle	10,52	1,6
Inconnue	295,00	44,1
Total	668,67	100

1.1.2 Contexte hydrogéomorphologique

Le territoire du bassin versant de la rivière à Mars est entièrement situé dans la province géologique de Grenville dont l'altitude varie de 10 m et 1090 m (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), 2009a). La roche mère est principalement composée de roches intrusives métamorphisées (notamment des gneiss chamockitiques et des granitoïdes) (Géologie Québec, 2011). Un fort héritage glaciaire parsemé d'affleurements rocheux est également présent sur le territoire. Le bassin versant se divise en trois sections géomorphologiques distinctes. Tout d'abord, les hautes terres laurentidiennes sont constituées de vallons, d'affleurements rocheux et de plaines dont l'altitude varie entre 750 m et 1129 m au-dessus du niveau de la mer. La rivière y incise une séquence de dépôts glaciaires reposant directement sur le roc, juxtaglaciaires, périglaciaires et fluvio-glaciaires. Enfin, de nombreux affleurements rocheux sont

observés sur ce territoire. Ensuite, le noyau central du bassin est caractérisé par une forme générale de plateaux ondulés en gradins situés entre 500 m et 750 m d'altitude, par un relief escarpé ainsi que de multiples linéaments géologiques. Plusieurs affleurements rocheux y sont remarqués et exercent, dans certains cas, un contrôle lithologique sur le tracé de la rivière. Cette section constitue la transition entre les hautes terres laurentiennes et les basses terres du Saguenay. Par conséquent, la rivière incise les mêmes types de dépôts que ceux observés dans les hautes terres laurentiennes, de même que des dépôts marins issus du retrait de la mer de Laflamme. La transition entre les deux sections n'est cependant pas nette. Finalement, la troisième section géomorphologique est les basses terres du Saguenay qui sont situées entre 10 m et 500 m d'altitude. Ces basses terres se caractérisent par un relief peu escarpé et par la présence de terrasses composées de dépôts alluviaux récents, d'anciens deltas fluvio-glaciaires des rivières à Mars et Du Moulin et des dépôts d'argile marine provenant de la mer de Laflamme.

La rivière à Mars est une rivière **alluviale** qui s'écoule sur environ 95 km à partir des lacs de tête Turcotte et À Mars jusqu'à son embouchure dans la baie des Ha!Ha!. La zone estuarienne s'étend de l'embouchure jusqu'au barrage de la passe à saumons (COBRAM et OBV Saguenay, 2012). Le régime **hydrologique** de la rivière à Mars est de type nivo-pluvial et se caractérise par un débit annuel moyen de $11,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, ponctué de crues généralement printanières pouvant varier de 43 à $201 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), 2014).



CARTE 1.1 LOCALISATION DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE À MARS (A ET B) ET DU SECTEUR À L'ÉTUDE (C)

LÉGENDE

— Réseau hydrographique

— Frontière région administrative

— Frontière MRC

— Frontière municipalité

--- Limite du bassin versant

UNITÉ

MORPHODYNAMIQUE

■ ■ ■ Méandriforme (1)

■ ■ ■ Sinueuse (2)

■ ■ ■ Estuarienne-
anthropisée (3)



**ORGANISME DE
BASSIN VERSANT
DU SAGUENAY**



Auteur: Johan Bérubé

Sources: MRNF, 2009a; 2009b; 2009c; 2009d; 2009e; Ville de Saguenay, 2013

1.1.3 Secteur à l'étude

Le secteur à l'étude consiste à la portion aval de la rivière à Mars située dans la section des basses terres du Saguenay, au niveau de l'arrondissement de La Baie de la Ville de Saguenay. Ce secteur a été priorisé en raison de l'élargissement de la **plaine alluviale**, de la forte vulnérabilité à l'érosion du **lit mineur** découlant de la nature des dépôts et de la présence d'infrastructures et d'activités anthropiques à proximité du **lit mineur** pouvant influencer l'**équilibre dynamique**.

Le secteur a été divisé longitudinalement en trois **unités morphodynamiques (UMD)** homogènes afin de décomposer la diversité des environnements fluviaux. Ces ensembles morphodynamiques sont des assemblages de formes **fluviales** et alluviales spécifiques aux processus qui contrôlent la formation et le développement de formes. La sectorisation longitudinale, inspirée de Demers et Buffin-Bélanger (2011), a été réalisée en fonction des paramètres **hydrogéomorphologiques** (notamment le confinement dans la vallée, la largeur du lit et la sinuosité du chenal), du type de berge (c'est-à-dire meuble, rocheux ou anthropique), de la présence de végétation et d'infrastructures (carte 1.1C; tableau 1.2).

Tout d'abord, l'**unité morphodynamique 1 (UMD 1)**, soit l'**unité morphodynamique** méandriforme, s'étend longitudinalement du pont du centre de plein Le Bec-Scie jusqu'en aval du deuxième méandre (carte 1.1C). Cette unité se caractérise par sa position en aval du barrage des Murailles, par la présence de quatre méandres, par la proximité d'un confinement de vallée ayant pour effet de concentrer l'écoulement, par une faible largeur du **lit mineur** (moins de 40 m) et par l'élargissement progressif du **lit majeur**. Les berges sont majoritairement meubles, modérément végétalisées, parfois clairsemées, et on remarque quelques infrastructures à proximité des berges.

Ensuite, l'**unité morphodynamique 2 (UMD 2)**, celle dite sinueuse, se situe dans la portion la plus élargie du **lit majeur** et se prolonge jusqu'au barrage Roméo-Tremblay (carte 1.1C). Cette unité au chenal sinueux se caractérise par une largeur du **lit mineur**

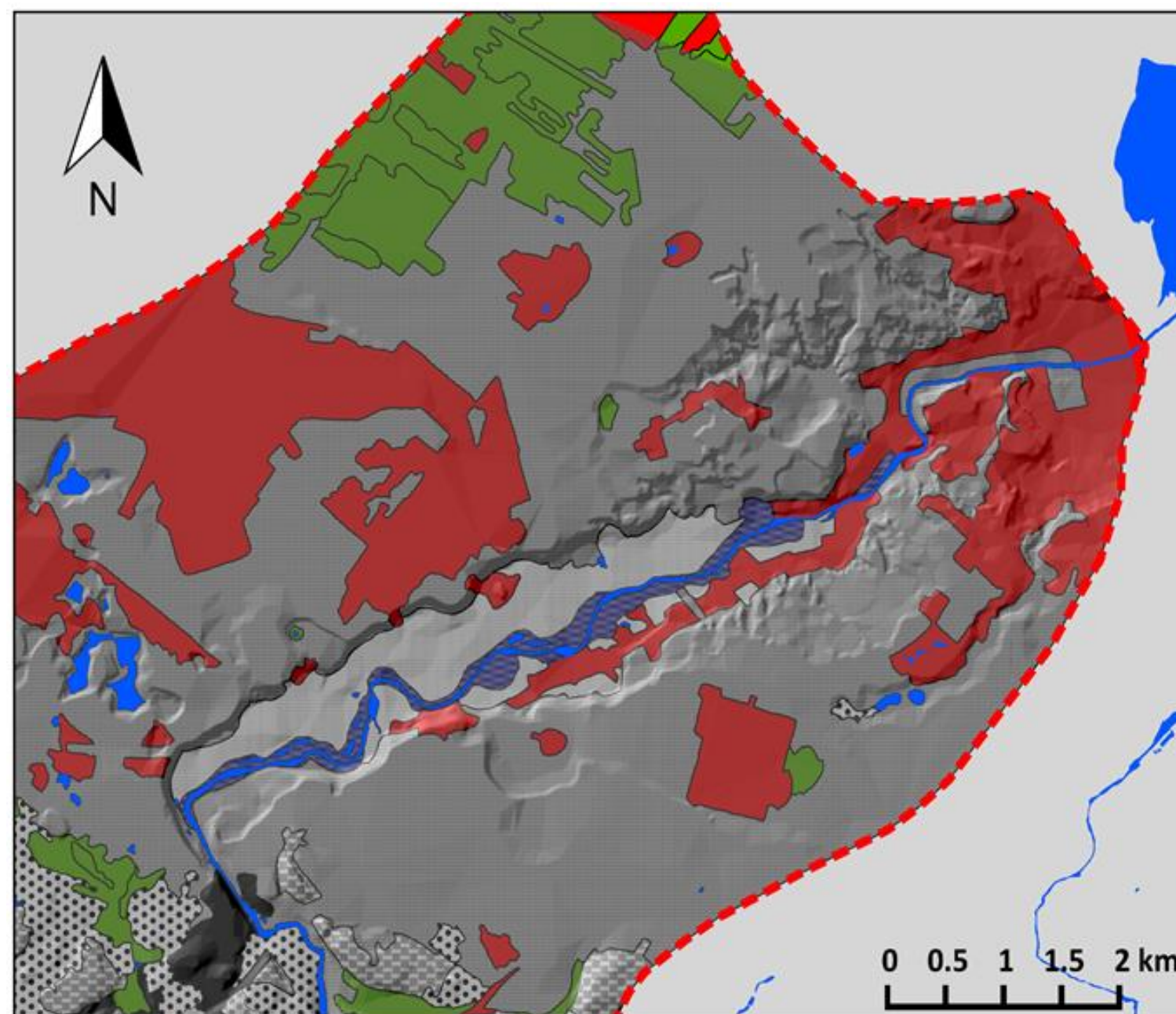
très élevée (entre 40 m et 130 m), des berges généralement meubles et anthropisées (notamment par des enrochements) et par une faible présence de végétation sur le **lit moyen**.

Finalement, l'**unité morphodynamique 3 (UMD 3)**, soit l'unité estuarienne-anthropisée, se situe dans la zone de l'estuaire de la rivière à Mars en aval du rétrécissement du **lit moyen**, soit du barrage Roméo-Tremblay jusqu'à l'embouchure de la rivière Saguenay (carte 1.1C). La largeur du **lit mineur** varie entre 30 m et 65 m. Cette portion est également située dans la zone urbaine de l'arrondissement de La Baie de la Ville de Saguenay. Par conséquent, les berges sont fortement anthropisées et peu végétalisées. Des berges meubles, rocheuses, des îlots de végétation dense sur le **lit moyen**, ainsi que plusieurs infrastructures (par exemple des ponts, des enrochements, la présence d'un barrage) y sont également observées.

Dans cette étude, ces trois **UMD** ont été utilisées par la suite en tant qu'unités d'analyse, de gestion, de mesures d'intervention et elles s'intègrent dans la démarche menant à la délimitation d'un **espace de liberté** pour le **tronçon** à l'étude.

Tableau 1.2 Description des unités morphodynamiques (UMD)

UNITÉ MORPHODYNAMIQUE		CARACTÉRISTIQUES			
		Paramètres HGM	Type de berge	Végétation	Infrastructures
1	Méandrique	Aval d'un confinement; largeur du lit mineur < 40 m	Meuble	Clairsemée; parfois abondante	Ponts; aval du barrage des Murailles
2	Sinueuse	Largeur du lit mineur 40 ≥ 130 m	Meuble; affleurements rocheux; anthropisée	Peu de végétation sur le lit majeur	Pont; enrochements
3	Estuarienne- anthropisée	Largeur du lit mineur 30 ≥ 65 m	Meuble; affleurements rocheux; anthropisée	Peu de végétation sur le lit majeur	Ponts; enrochements; barrage



CARTE 1.2 RÉPARTITION SPATIALE DES DÉPÔTS DE SURFACE DANS LE SECTEUR À L'ÉTUDE

LÉGENDE

- Réseau hydrographique
- Limite du bassin versant

DÉPÔT DE SURFACE

- | | |
|---|--|
| Dépôt marin peu profond | Affleurement rocheux |
| Dépôt glaciaire | Dépôt organique |
| Dépôt alluvial récent | Anthropique |
| Dépôt marin profond | |



**ORGANISME DE
BASSIN VERSANT
DU SAGUENAY**



Auteur: Johan Bérubé
Sources: : MRNF, 2008; 2009a; 2009b; 2009c; 2009d; 2009e

1.2 Suivi hydrogéomorphologique

Le suivi **hydrogéomorphologique** a été effectué selon une approche historique de la rivière. Cela consiste plus spécifiquement à suivre la **géométrie planimétrique** du **lit mineur** pour la période 1976 à 2013. Pour ce faire, le **lit mineur** a été tracé pour chacune des années disponibles (soit les années 1976, 1996, 1998, 2005, 2007, 2008, 2010 et 2013) à l'aide des fonctions d'édition d'un logiciel de système d'information géographique (QGIS[®]). Ensuite, les **lits mineurs** de la série temporelle ont été juxtaposés afin de suivre l'évolution du **lit mineur** entre chaque séquence temporelle. Cela a permis d'évaluer l'évolution des caractéristiques géomorphologiques (c'est-à-dire la largeur du chenal, l'érosion, l'accumulation de sédiments, la migration du chenal, l'amplitude des sinuosités et des méandres), de l'intensité des changements géomorphologiques et de la trajectoire morphologique de la rivière (autrement dit, la tendance évolutive de la géomorphologie du **lit mineur**). La précision des résultats de l'évolution du **lit mineur** varie en fonction de la résolution temporelle entre deux séries de photographies aériennes. La résolution temporelle a été influencée par la disponibilité des photographies aériennes et, par conséquent, cette résolution varie d'un à vingt ans. La période postdéluge (soit dans l'intervalle de 1996 et 2013) possède toutefois une résolution temporelle plus précise variant d'un à sept ans.

1.3 Caractérisation physique des berges

La caractérisation physique des berges consiste à acquérir l'information affectant la stabilité des berges. Elle a été réalisée en deux étapes complémentaires afin de s'assurer la qualité des résultats. Tout d'abord, l'information concernant l'état des berges (donc à l'état stable, en érosion ou en accumulation), le degré d'intensité de l'érosion (intensité allant de très légère à très sévère), ainsi que la présence et l'état des infrastructures présentes à proximité du **lit mineur** a été obtenue à partir de la photo-interprétation des orthophotographies de 2013. Ensuite, la validation des interprétations a été effectuée lors d'une sortie terrain réalisée le 18 juin 2014. Cette validation a permis de rectifier les interprétations sur l'état des berges et des

infrastructures ainsi que de valider le degré d'intensité des processus d'érosion. Le suivi **hydrogéomorphologique** du **lit mineur** a également contribué à établir le degré d'érosion pour les **segments** inaccessibles de la rivière.

1.4 Cadre d'analyse

1.4.1 Équilibre dynamique

En premier lieu, les analyses ont consisté à comparer la **géométrie planimétrique** provenant du suivi **HGM** dans chacune des **unités morphodynamiques** et pour chacune des séquences temporelles. Les années 1976 et 1996 ont été utilisées comme les années de référence pour les périodes respectives de prédéluge et de postdéluge. En second lieu, les tendances évolutives et l'intensité des processus érosifs ont été ressorties pour chacune des **unités morphodynamiques** à partir des analyses du suivi **HGM** et de la caractérisation des berges. En troisième lieu, l'identification, le suivi dans le temps et l'évaluation de l'état des infrastructures statiques ont été réalisés afin de déterminer leurs effets sur l'évolution du **lit mineur** pour chaque **segment**. Enfin, les informations issues de ces analyses ont été rassemblées et examinées afin d'évaluer l'état d'**équilibre dynamique** du **tronçon** à l'étude.

1.4.2 Espace de liberté et segments d'intervention prioritaire

L'analyse du suivi **hydrogéomorphologique** a permis d'évaluer les tendances évolutives du **lit mineur** pour ainsi permettre de délimiter le **corridor de liberté** préliminaire de part et d'autre de la rivière. La délimitation du **corridor de liberté** a été effectuée, dans une certaine mesure, à partir de l'amplitude de la **géométrie planimétrique**, de l'amplitude des méandres et des sinuosités, de même que de la présence des infrastructures à proximité du **lit mineur**.

Le **corridor de liberté** a ensuite permis d'identifier les **segments** d'intervention prioritaire qui constituent les zones où le réajustement du **lit mineur** pourrait provoquer d'éventuels conflits de gestion entre les utilisateurs, les gestionnaires et la rivière à Mars. La précarité des **segments** a été déterminée par la proximité et le type

d'infrastructures présentes dans le **lit mineur**, ainsi que par les caractéristiques géomorphologiques du **lit mineur** ou moyen.

2. Suivi hydrogéomorphologique

2.1 Évolution du lit mineur

La vallée de la rivière à Mars est tapissée par une **plaine alluviale** constituée de dépôts meubles de nature diverse (carte 1.2). La structure **hydrogéomorphologique** de la vallée est ainsi libre d'évoluer dans le temps en fonction des conditions hydrométéorologiques (notamment les précipitations et les débits), des processus fluviaux (par exemple, l'**incision**, l'**aggradation**, l'élargissement du chenal, la formation de sinuosités ou de méandres, etc.), des contraintes lithologiques (le confinement par la vallée et les affleurements rocheux par exemple) et des infrastructures statiques présentes dans le **lit mineur**.

La nature des dépôts de surface influence également les changements géomorphologiques en affectant la résilience des berges face à l'érosion. Le **lit mineur** de la rivière constitue l'élément de la structure **HGM** le plus dynamique en raison de la récurrence élevée des crues. Par conséquent, cet élément de la structure **HGM** a été le sujet d'un suivi pour la période 1976-2013. La carte 2.1 couvre l'évolution du **lit mineur** pour cette période de 37 ans. De 1976 à 2013, de nombreux changements dans les **styles fluviaux**, dans la **géométrie planimétrique**, dans les caractéristiques géomorphologiques et dans la trajectoire morphologique du **lit mineur** peuvent être constatés.

2.1.1 Période prédéluge

Le suivi pour cette période prédéluge comprend l'évolution du **lit mineur** dans l'intervalle de temps 1976-1996. L'érosion, l'élargissement considérable du **lit mineur** généralisé dans le **tronçon** ainsi que la linéarisation du **lit mineur** de la rivière (cartes 2.1 et 2.2) ont été constatés dans les **UMD** 2 et 3. Malgré cette différence marquée de la **géométrie planimétrique** du **lit mineur**, la disponibilité d'une seule séquence

temporelle de photographies aériennes d'un intervalle de vingt ans (c'est-à-dire celle de 1976-1996) utilisé pour réaliser le suivi prédéluge ne permet pas d'analyser adéquatement l'évolution du **lit mineur**. Les résultats ne seront donc pas discutés dans cette étude. Cette séquence a toutefois été utilisée comme période de référence prédéluge pour les analyses de la période postdéluge, car la majorité des changements géomorphologiques majeurs du **lit mineur** peut être associée aux processus **morphogènes** engendrés par la crue centenaire de 1996.

2.1.1 Période postdéluge

Le déluge du Saguenay, survenu en juillet 1996, a fortement affecté la structure **hydrogéomorphologique** de la rivière à Mars. La période postdéluge couverte par le présent suivi correspond à la séquence temporelle 1996-2013. L'intervalle de temps entre les différentes séquences de photographies aériennes varie d'un à sept ans. Les cartes 2.1 à 2.8 illustrent les variations de la **géométrie planimétrique** du **lit mineur** pour chacune des séquences temporelles pour la période postdéluge (soit les séquences 1996-1998, 1998-2005, 2005-2007, 2007-2008, 2008-2010 et 2010-2013).

Tout d'abord, la largeur du **lit mineur** a généralement diminué dans le **tronçon** à l'étude entre 1996 et 1998 (carte 2.3). Cette réduction s'illustre par l'accumulation de sédiments de part et d'autre du chenal observée tout au long du **tronçon**. Quelques **segments** en érosion ont toutefois été remarqués au niveau de la berge droite de l'**UMD** 1 et de la berge droite située de la deuxième sinuosité de l'**UMD** 2. Le **lit mineur** dans la portion aval de l'**UMD** 3 s'est linéarisé comparativement à celui de 1976.

La réduction de la largeur du **lit mineur** s'est perpétuée dans la séquence temporelle 1998-2005 dans l'ensemble du **tronçon** (carte 2.4). Quelques **segments** en érosion ont été remarqués le long de l'**UMD** 2 ainsi qu'au niveau de la berge droite de l'**UMD** 3.

La séquence temporelle 2005-2007 est marquée par un élargissement du **lit mineur**, majoritairement concentrée dans les sinuosités de l'**UMD** 2 (carte 2.5). La formation

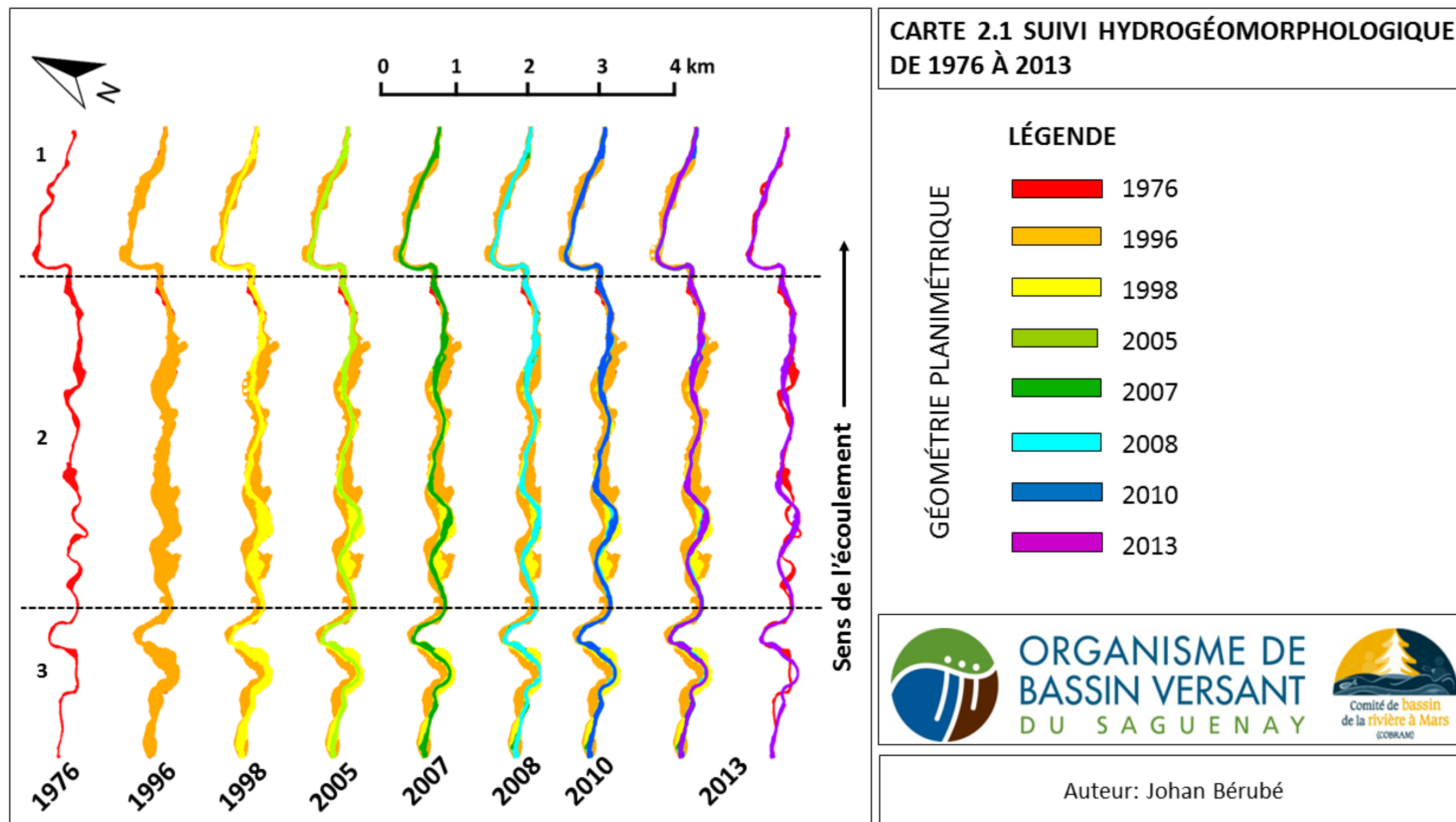
d'une île issue de l'érosion de la berge droite dans la portion aval de cette unité a également été observée.

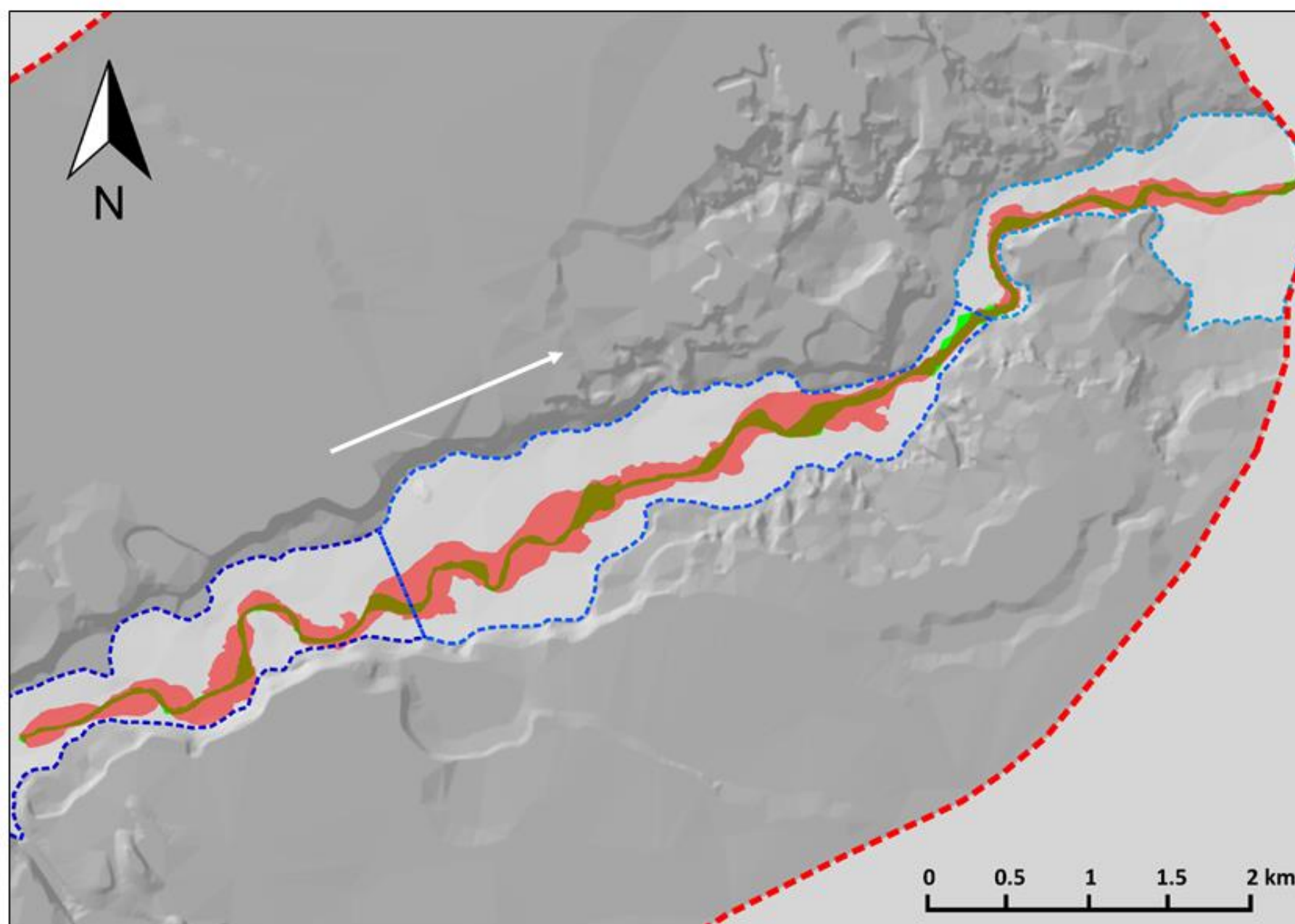
Ensuite, l'intervalle 2007-2008 est caractérisé par un état généralement stable du **lit mineur** ponctué de **segments** en état d'érosion dans les **UMD 1** et **2**, ce qui provoque un léger élargissement du **lit mineur** (carte 2.6).

Le **lit mineur** s'est généralement stabilisé entre 2008 et 2010 (carte 2.7). Néanmoins, une évolution dans certains **segments** du **lit mineur** a été observée par deux processus **morphogènes** distincts. D'une part, l'érosion de la berge droite d'une sinuosité au niveau de l'**UMD 1**, de l'**UMD 2** et dans la zone estuarienne de l'**UMD 3** a été constatée. D'autre part, la diminution de la largeur du **lit mineur** a été observée dans la transition de l'**UMD 1** à l'**UMD 2** par l'effet de l'**aggradation** des berges de part et d'autre du chenal.

Enfin, une réduction de la largeur du **lit mineur** marquée par des **segments** stables et en accumulation est observée tout au long du **tronçon** à l'étude entre 2010 et 2013 (carte 2.8). La sinuosité située à l'amont de l'**UMD 2** a toutefois été érodée de part et d'autre du chenal pendant cet intervalle temporel.

Ce suivi **hydrogéomorphologique** a présenté l'évolution du **lit mineur** dans le **tronçon** à l'étude pour la période postdéluge. Afin de mieux comprendre son évolution dans le temps, il est également important de connaître les conditions **hydrologiques** des événements **morphogènes**.





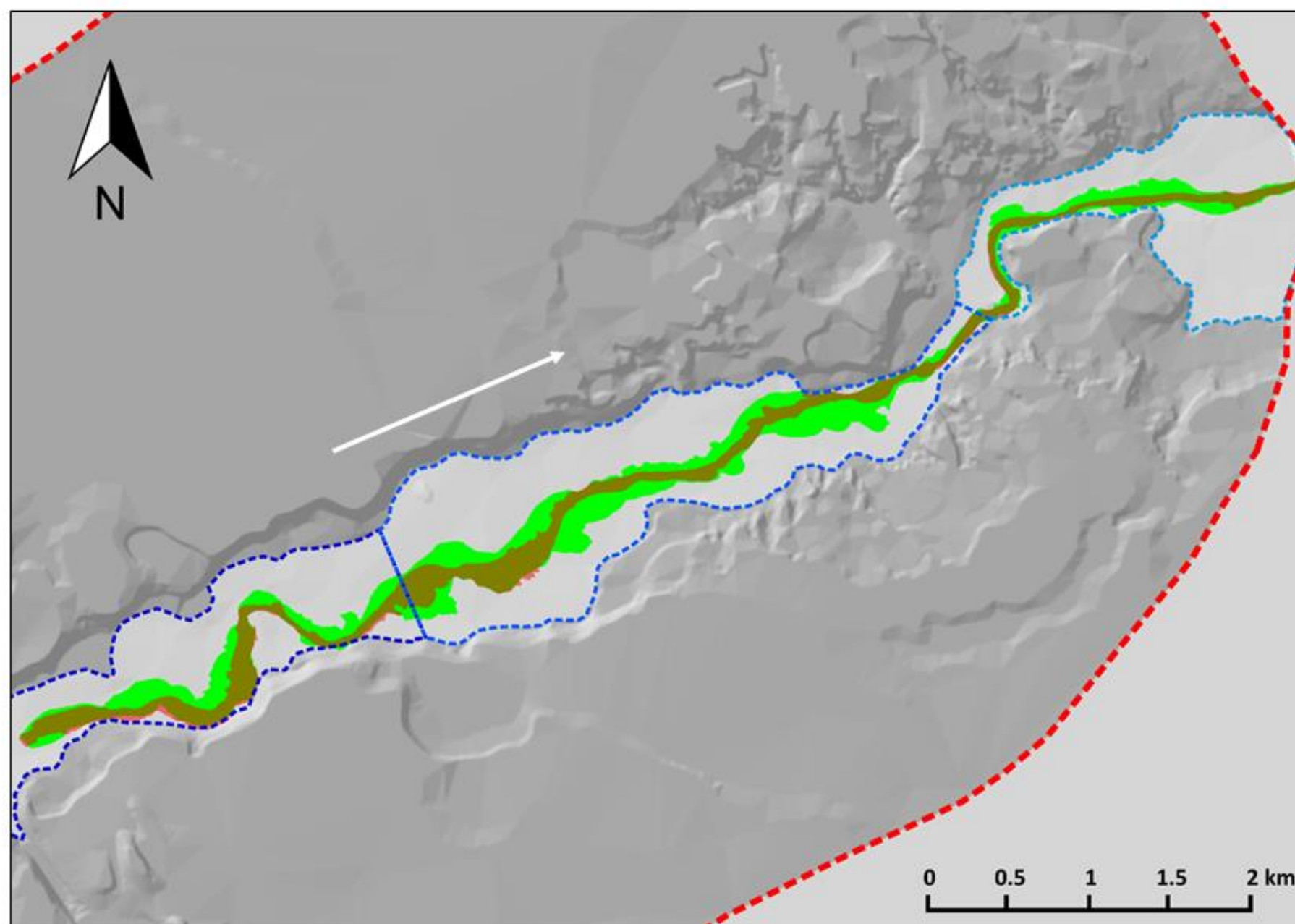
**CARTE 2.2 GÉOMÉTRIE PLANIMÉTRIQUE
DU LIT MINEUR POUR LES ANNÉES 1976
ET 1996**

LÉGENDE

■ ■ ■ ■	Limite du bassin versant	□ □ □ □	Plaine alluviale
ÉTAT DU LIT MINEUR		UNITÉ MORPHODYNAMIQUE	
■	Érosion	■ ■ ■ ■	Méandriforme (1)
■	Stable	■ ■ ■ ■	Sinueuse (2)
■	Accumulation	■ ■ ■ ■	Estuarienne-anthropisée (3)



Auteur: Johan Bérubé
Sources: MRNF, 2009b



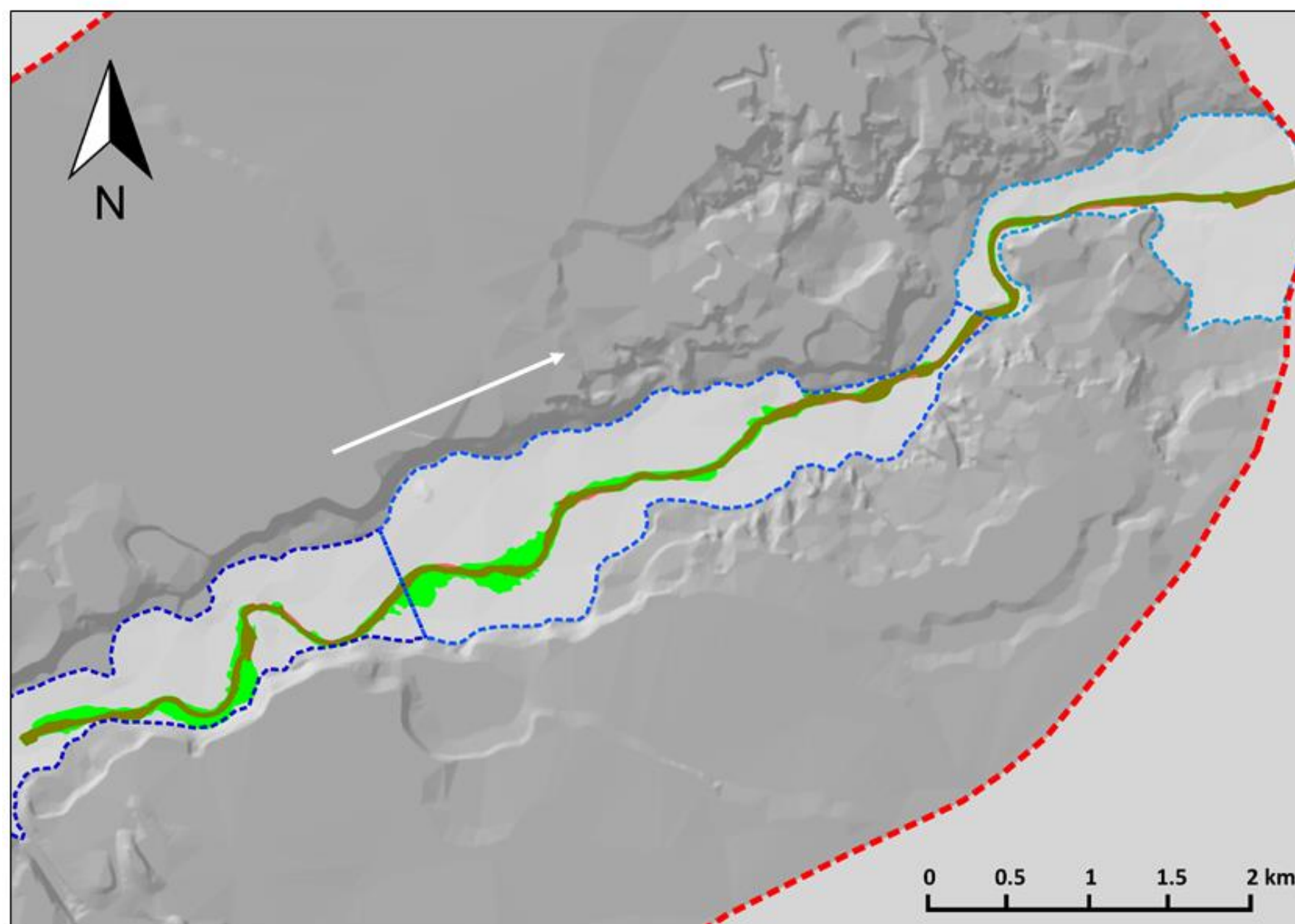
**CARTE 2.3. GÉOMÉTRIE PLANIMÉTRIQUE
DU LIT MINEUR POUR LES ANNÉES 1996
ET 1998**

LÉGENDE

■ ■ ■ ■ Limite du bassin versant	□ □ □ □ Plaine alluviale
ÉTAT DU LIT MINEUR	
■ Érosion	
■ Stable	
■ Accumulation	
UNITÉ MORPHODYNAMIQUE	
■ ■ ■ ■ Méandriforme (1)	
■ ■ ■ ■ Sinueuse (2)	
■ ■ ■ ■ Estuarienne-anthropisée (3)	



Auteur: Johan Bérubé
Sources: MRNF, 2009b



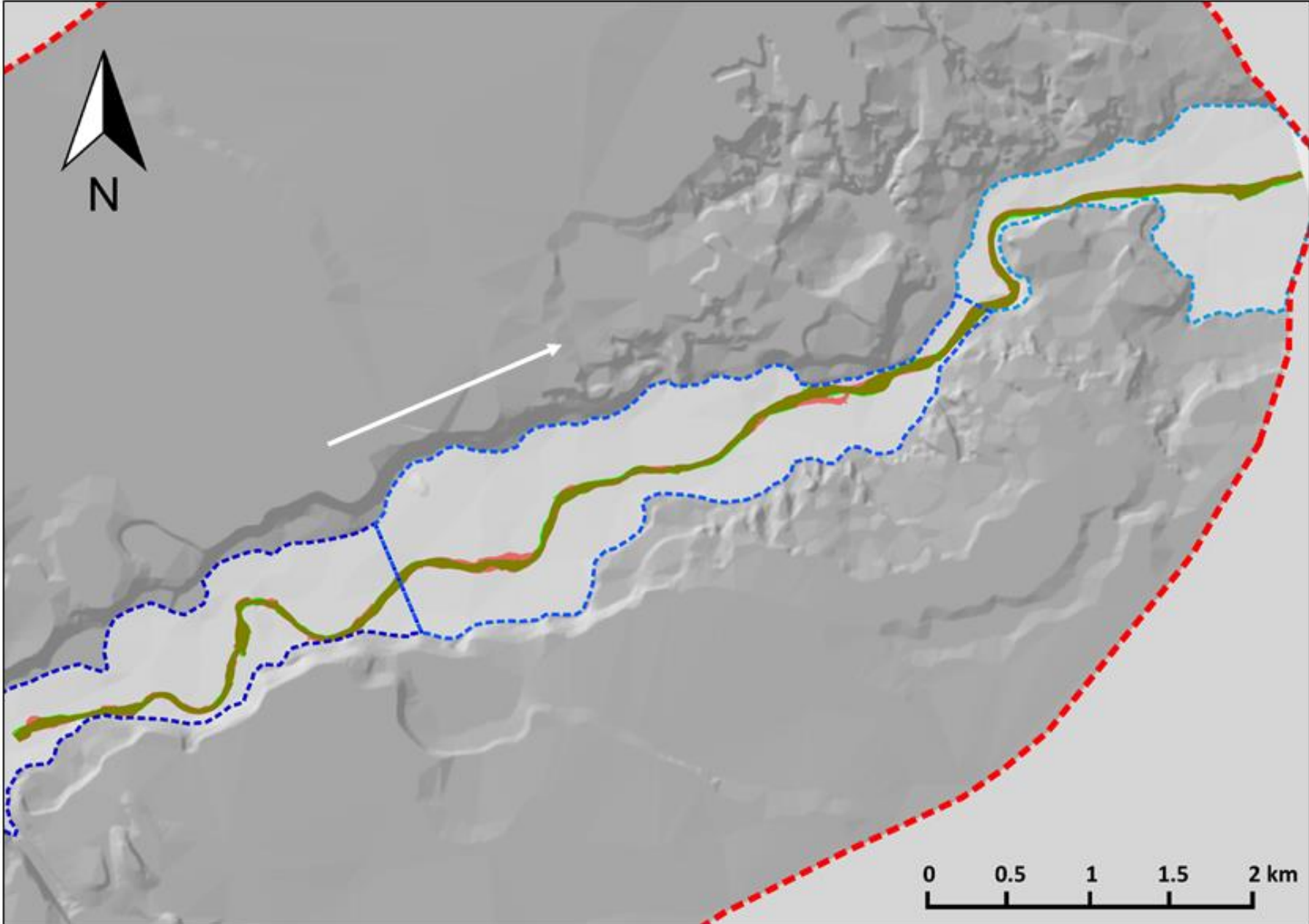
**CARTE 2.4 GÉOMÉTRIE PLANIMÉTRIQUE
DU LIT MINEUR POUR LES ANNÉES 1998
ET 2005**

LÉGENDE

■ ■ ■ ■	Limite du bassin versant	□ □ □ □	Plaine alluviale
ÉTAT DU LIT MINEUR		UNITÉ MORPHODYNAMIQUE	
■	Érosion	■ ■ ■ ■	Méandriforme (1)
■	Stable	■ ■ ■ ■	Sinueuse (2)
■	Accumulation	■ ■ ■ ■	Estuarienne-anthropisée (3)



Auteur: Johan Bérubé
Sources: MRNF, 2009b



**CARTE 2.5 GÉOMÉTRIE PLANIMÉTRIQUE
DU LIT MINEUR POUR LES ANNÉES 2005
ET 2007**

LÉGENDE

■ ■ ■ ■ Limite du bassin versant	□ □ □ □ Plaine alluviale
ÉTAT DU LIT MINEUR	
■ Érosion	
■ Stable	
■ Accumulation	
UNITÉ MORPHODYNAMIQUE	
■ ■ ■ ■ Méandriforme (1)	
■ ■ ■ ■ Sinueuse (2)	
■ ■ ■ ■ Estuarienne-anthropisée (3)	

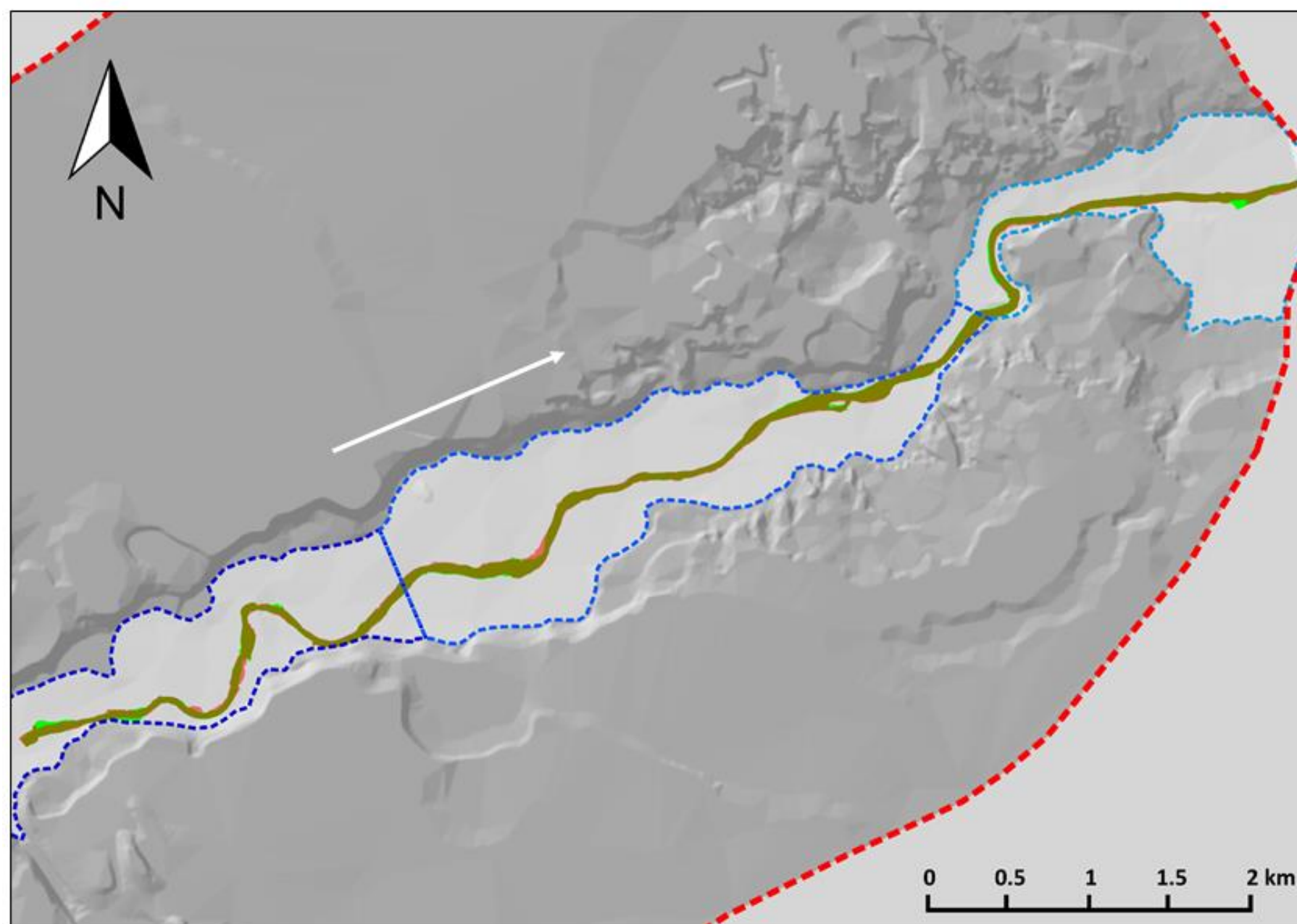


**ORGANISME DE
BASSIN VERSANT
DU SAGUENAY**



Comité de bassin
de la rivière à Mars
(COBRAM)

Auteur: Johan Bérubé
Sources: MRNF, 2009b



**CARTE 2.6 GÉOMÉTRIE PLANIMÉTRIQUE
DU LIT MINEUR POUR LES ANNÉES 2007
ET 2008**

LÉGENDE

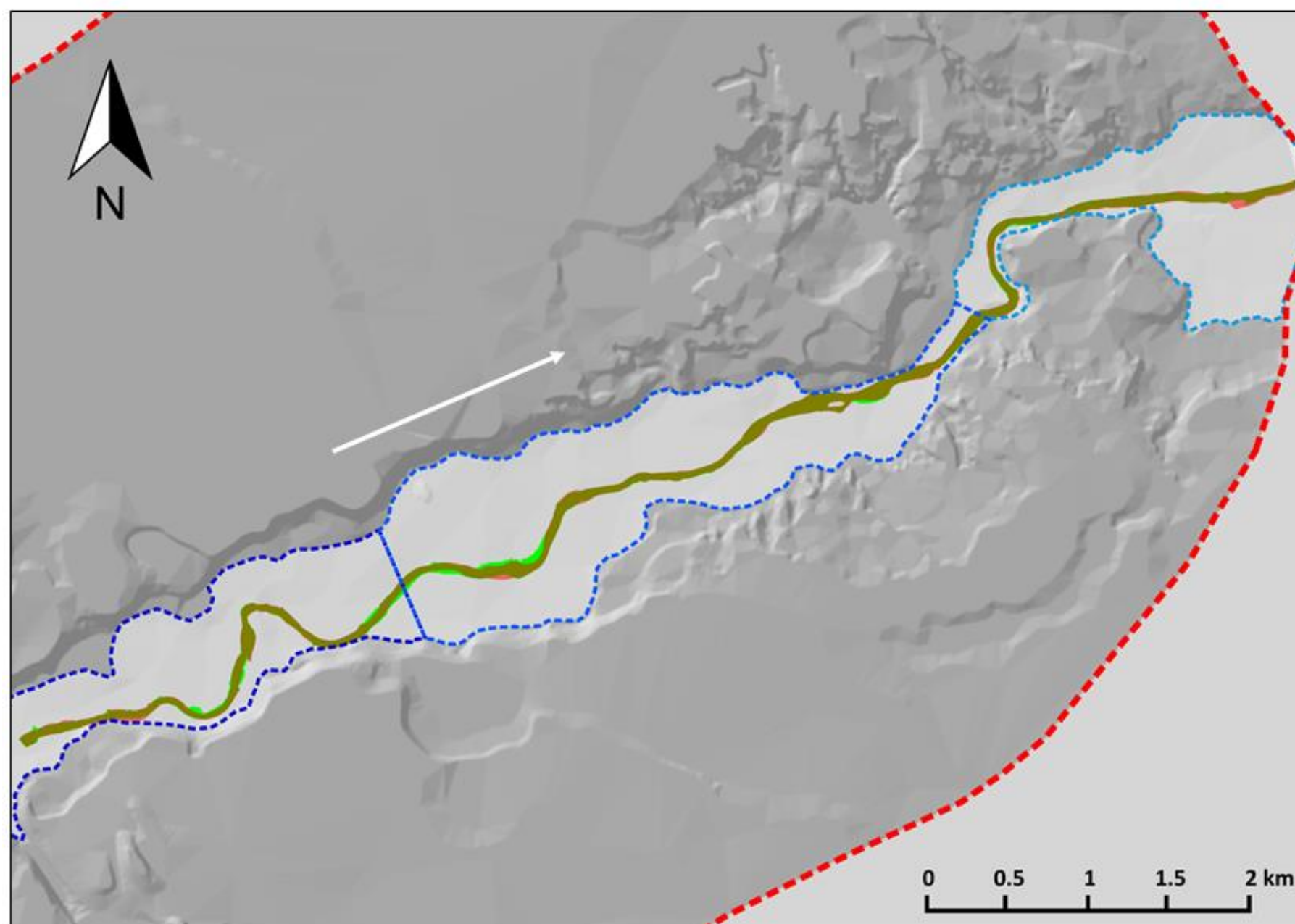
--- Limite du bassin versant	Plaine alluviale
ÉTAT DU LIT MINEUR	
Érosion	
Stable	
Accumulation	
UNITÉ MORPHODYNAMIQUE	
■ ■ ■ Méandriforme (1)	
■ ■ ■ Sinueuse (2)	
■ ■ ■ Estuarienne-anthropisée (3)	



**ORGANISME DE
BASSIN VERSANT
DU SAGUENAY**



Auteur: Johan Bérubé
Sources: MRNF, 2009b



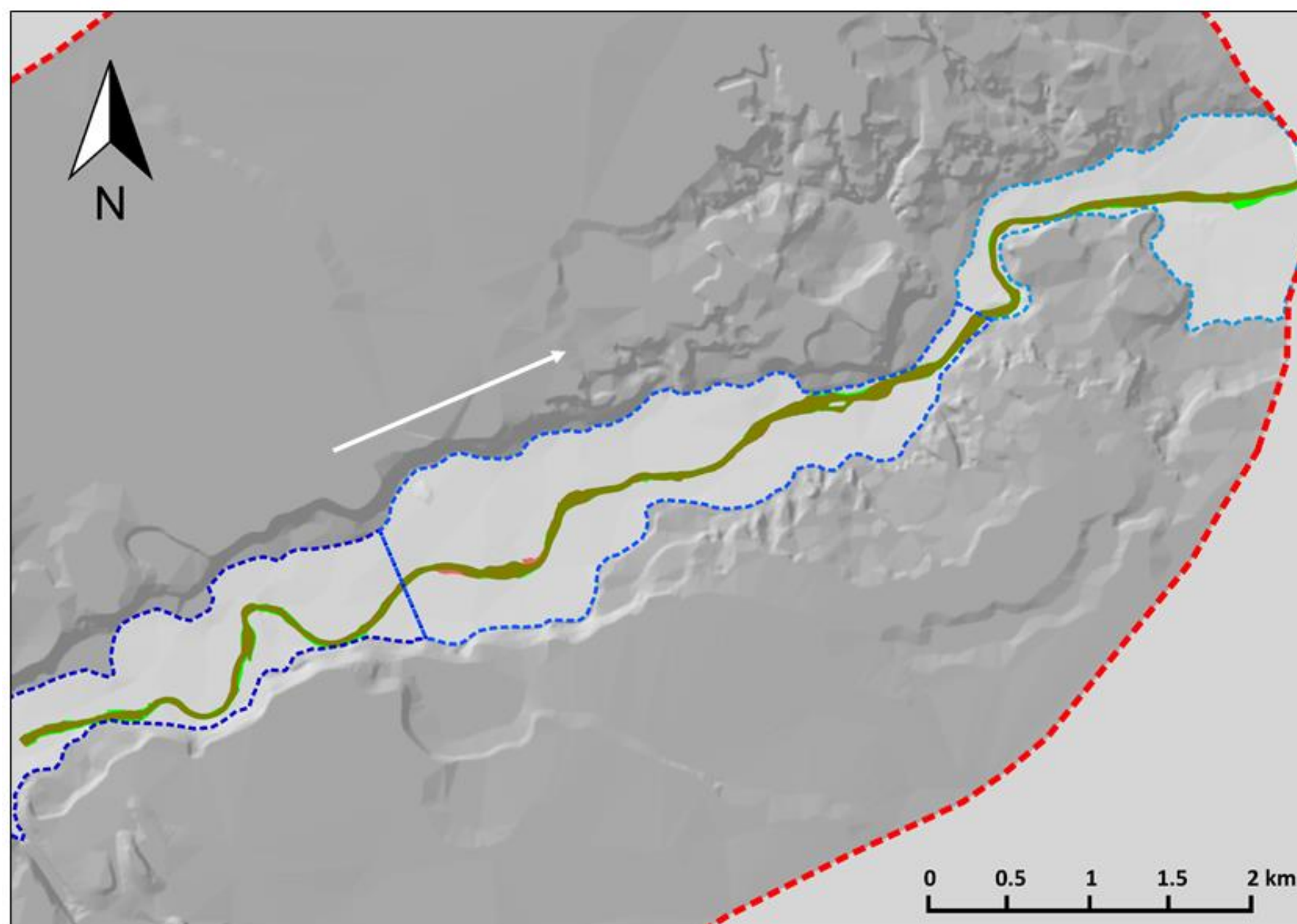
**CARTE 2.7 GÉOMÉTRIE PLANIMÉTRIQUE
DU LIT MINEUR POUR LES ANNÉES 2008
ET 2010**

LÉGENDE

--- Limite du bassin versant	Plaine alluviale
ÉTAT DU LIT MINEUR	
Érosion	
Stable	
Accumulation	
UNITÉ MORPHODYNAMIQUE	
■ ■ ■ Méandriforme (1)	
■ ■ ■ Sinueuse (2)	
■ ■ ■ Estuarienne-anthropisée (3)	



Auteur: Johan Bérubé
Sources: MRNF, 2009b



**CARTE 2.8 GÉOMÉTRIE PLANIMÉTRIQUE
DU LIT MINEUR POUR LES ANNÉES 2010
ET 2013**

LÉGENDE

--- Limite du bassin versant	Plaine alluviale
ÉTAT DU LIT MINEUR	
Érosion	
Stable	
Accumulation	
UNITÉ MORPHODYNAMIQUE	
■ ■ ■ Méandriforme (1)	
■ ■ ■ Sinueuse (2)	
■ ■ ■ Estuarienne-anthropisée (3)	



Auteur: Johan Bérubé
Sources: MRNF, 2009b

2.1.2 Conditions hydrologiques

Les conditions **hydrauliques** de l'écoulement, responsables de l'érosion, du transport et de l'accumulation des sédiments, sont principalement affectées par les conditions **hydrologiques** (c'est-à-dire les débits pleins-bords, d'étiage, moyen, le synchronisme, la saisonnalité et l'intensité des crues). La station hydrométrique (station 060704; CEHQ, 2014) est située à la hauteur de la fosse 80 dans la ZEC de la rivière à Mars, soit en amont du barrage des Murailles. La série temporelle des débits est scindée en deux périodes, soit de septembre 1998 à août 2005 et d'août 2008 à décembre 2013. La figure 2.1 présente la série temporelle des débits quotidiens moyens (ligne noire) et des débits annuels moyens (ligne pointillée rouge) de décembre 1998 à décembre 2013.

La série fragmentée possède une moyenne de débit de $11,4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, ainsi qu'une grande variabilité marquée par un écart-type de $15,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. La variabilité de la série temporelle se reflète également par un minimum de débit enregistré de $1,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, un maximum de $201,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, soit pour une étendue de $199,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Le régime **hydrologique** est caractérisé par la présence d'environ une crue majeure par année survenant généralement au printemps dont le débit moyen s'élève à $105,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Quelques crues sévères (celles plus élevées que $55 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) sont également survenues à l'automne 2004, 2005 et 2010, dont la plus élevée depuis le déluge ($201,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Toutefois, la série temporelle ne reflète pas avec exactitude les conditions **hydrologiques** présentes dans le **tronçon** à l'étude en raison de la présence du barrage des Murailles qui contrôle le débit à l'aval. Malgré ce manque d'exactitude, les données de débit ont été utilisées afin d'identifier les événements potentiellement **morphogènes** pour le **lit mineur** du **tronçon** à l'étude.

Les conditions **hydrologiques** ont façonné le **lit mineur** au fil du temps en provoquant l'érosion des berges et du lit de la rivière, ainsi qu'en provoquant l'accumulation ou l'**aggradation** au niveau du lit. Elles sont ainsi responsables en majeure partie de la structure **hydrogéomorphologique** actuelle de la rivière à Mars.

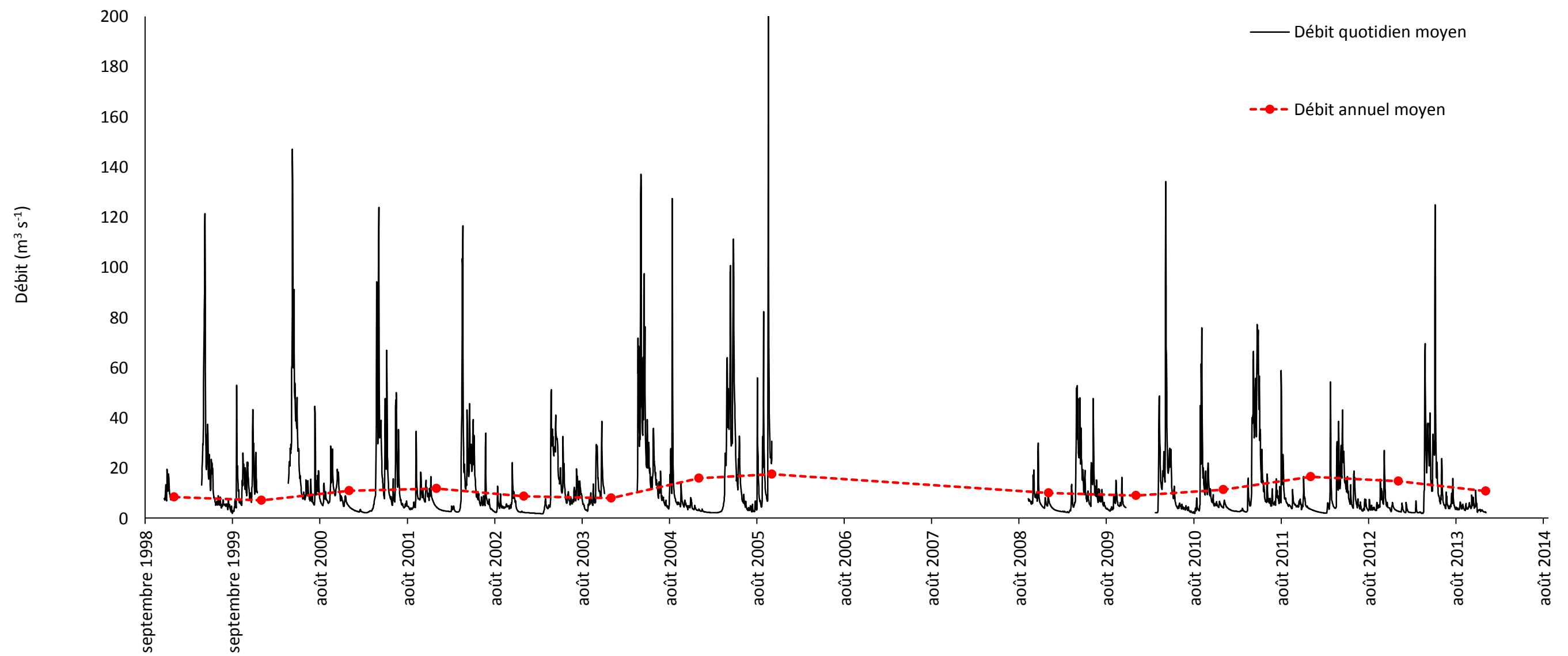


Figure 2.1 Débits quotidiens moyens pour la période postdéluge (1998-2014; CEHQ, 2014)

2.2 Portrait actuel du tronçon à l'étude

Le suivi **hydrogéomorphologique** a montré la trajectoire morphologique de la rivière à Mars dans le **tronçon** à l'étude pour la période postdéluge. Les perturbations géomorphologiques du **lit mineur** causées par les événements **morphogènes** antécédents couplées à la mise en place d'infrastructures dans le **lit mineur** ont affecté la stabilité du **lit mineur** dans le temps et l'espace. Les cartes 2.9 et 2.10 illustrent la position de chacune des infrastructures recensées et le degré d'intensité d'érosion des berges dans les trois **UMD** du **tronçon** à l'étude. L'information issue de ces cartes a permis de décrire le contexte **hydrogéomorphologique** actuel et l'impact potentiel des infrastructures sur l'état d'équilibre du **lit mineur** de la rivière à Mars.

2.2.1 Contexte hydrogéomorphologique actuel

Le contexte **hydrogéomorphologique** actuel peut donner un aperçu de la stabilité du **lit mineur** provoquée par les événements **morphogènes** antécédents. La plus récente séquence temporelle (soit celle de 2010-2013; carte 2.8) a illustré une diminution générale de la largeur du **lit mineur** de la rivière, à l'exception de quelques **segments** en érosion. L'état actuel des berges renseigne également sur l'évolution du **lit mineur** en caractérisant les **segments** en érosion active, ceux qui sont stables ou ceux en accumulation (figure 2.2). La carte 2.10 présente le degré d'intensité de l'érosion des berges du **tronçon** à l'étude observé lors de la campagne de terrain 2014 et ce, pour chacune des **UMD**. Le **tronçon** est caractérisé par un état légèrement en érosion dans les limites amont et aval et par un degré d'intensité plus élevé dans sa portion médiane.

L'**UMD** 1 est caractérisée par des berges variant généralement de l'état d'érosion faible à celui de stable. Quelques **segments** dont l'érosion est considérable sont toutefois constatés au niveau de la berge convexe du méandre ainsi que dans la portion aval de l'**UMD** 1. L'**UMD** 2 est caractérisée par des berges fortement ou sévèrement en érosion à l'amont ainsi qu'à l'aval. L'**UMD** 3 possède néanmoins quelques **segments** en état d'érosion forte ou sévère au niveau des sinuosités.

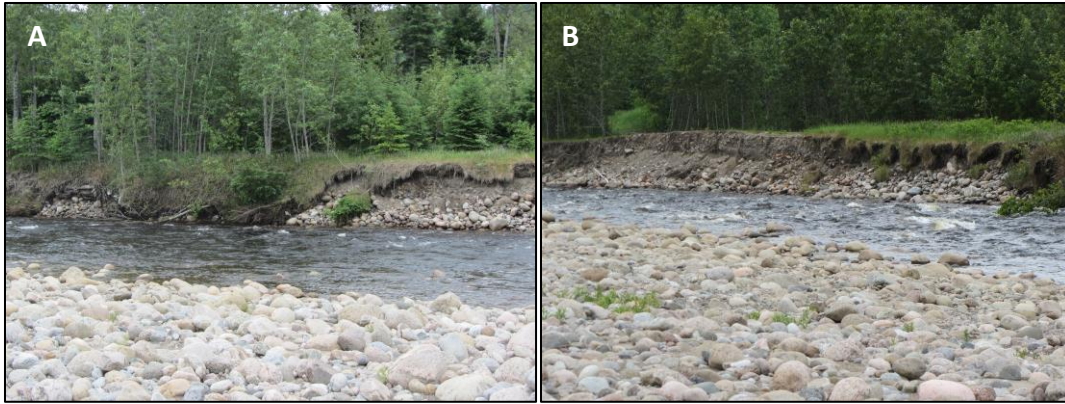


Figure 2.2 Exemples de berges en érosion dans l'UMD 2 : (A) **segment** forestier; (B) **segment** sans végétation (COBRAM, Johan Bérubé, 2014)

2.2.2 Infrastructures

Les infrastructures riveraines sont des structures statiques et stables construites dans un **lit mineur** dynamique. Par conséquent, le **lit mineur** évolue dans le temps pendant que ces structures demeurent immobiles. Les interactions des infrastructures avec le **lit mineur** sont considérables, car ces structures fixes affectent les conditions **hydrauliques** locales dans la rivière provoquant ainsi l'érosion, le transport de sédiments ou l'accumulation de ceux-ci et des changements géomorphologiques du **lit mineur**. Les berges situées à proximité d'infrastructures peuvent ainsi être en érosion malgré la protection offerte par la structure. Plusieurs types d'infrastructures sont observés tout au long du **tronçon** à l'étude tels des piliers de ponts, le barrage Roméo-Tremblay, une multitude d'enrochements et des murets de protection (carte 2.10).

La majorité des **segments** ayant des infrastructures à proximité sont généralement stables ou très faiblement en érosion dans le **tronçon** à l'étude. Certains **segments** proximaux aux structures fixes sont néanmoins en état d'érosion modérée, sévère et, même, très sévère (figure 2.3).

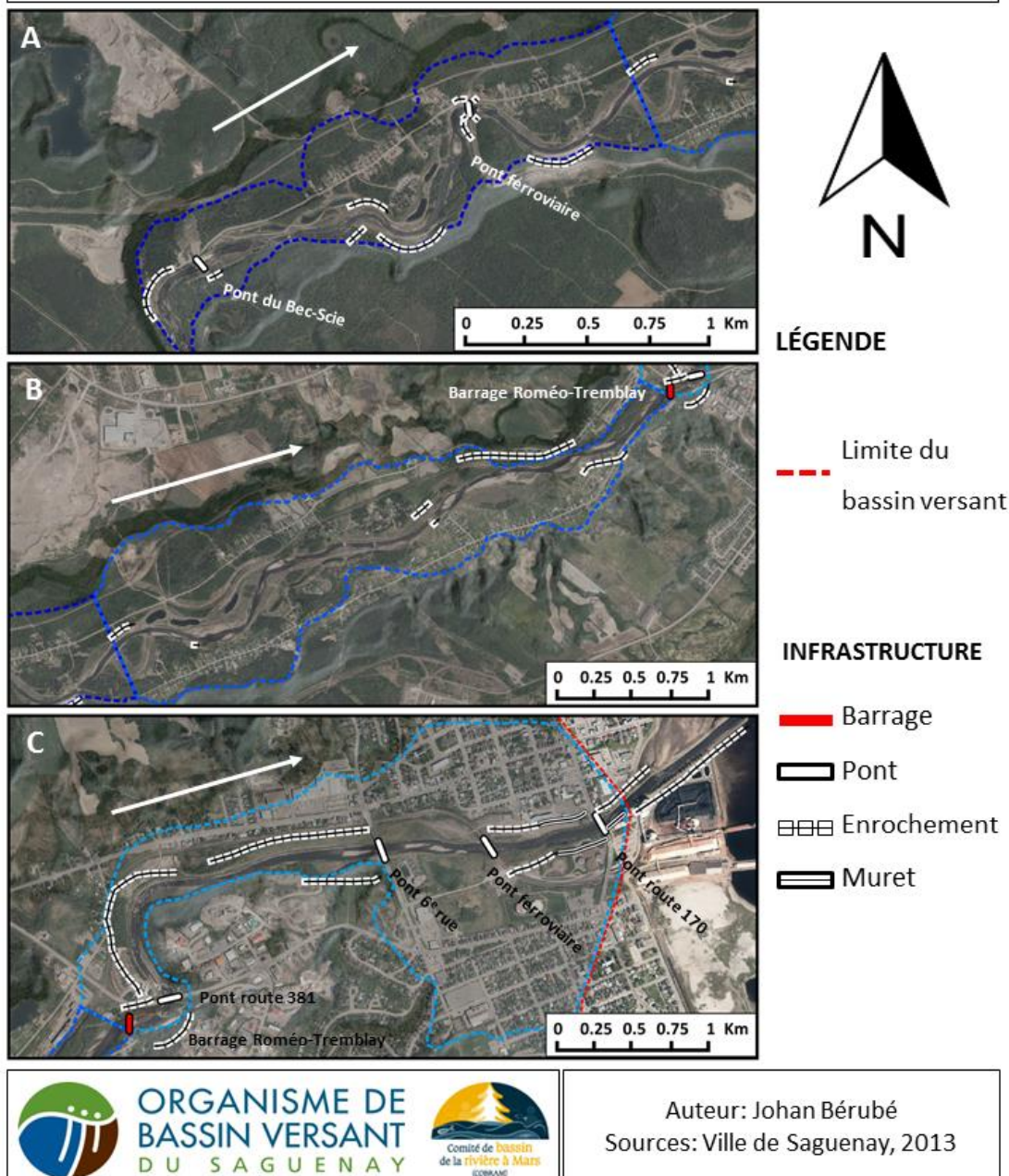


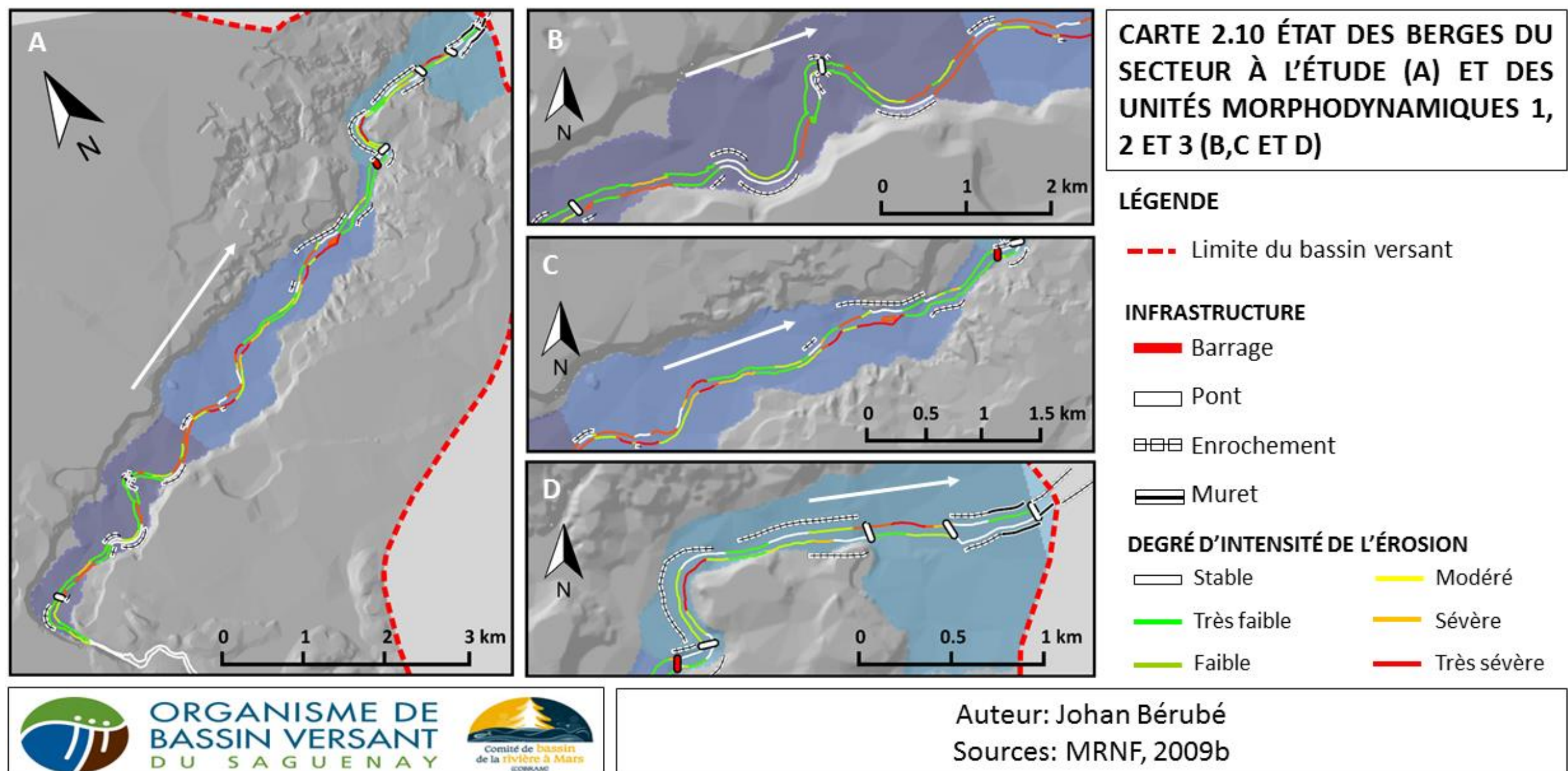
Figure 2.3 Exemples d’infrastructures présentes dans le lit mineur de la rivière à Mars : (A) pont ferroviaire stable dans l’UMD 1; (B) enrochement causant érosion très sévère dans l’UMD 2; (C) enrochement très faiblement en érosion dans la portion aval de l’UMD 2; (D) barrage Roméo-Tremblay stable à la transition des UMD 2 et 3.

La berge droite à l’aval du pont du Bec-Scie et la portion en aval d’un enrochement dans l’**UMD 1** sont sévèrement en érosion (carte 2.10B). Le pont ferroviaire dans la portion médiane est très faiblement en érosion, à l’exception d’un **segment** de la berge gauche à l’aval du pont. L’**UMD 2** est le secteur le plus touché par l’érosion (carte 2.10C). Plusieurs **segments** où l’érosion est considérable sont situés à l’amont ou à l’aval d’enrochements stables ou faiblement en érosion. L’**UMD 3** est le secteur anthropisé ayant le plus grand nombre d’infrastructures. Malgré l’abondance de structures à proximité des berges, seule la berge droite face à l’enrochement en aval du pont de la route régionale 381 est en érosion très sévère ainsi que la berge gauche à l’aval, soit entre le pont de la 6^e rue et le pont ferroviaire.

Le suivi **hydrogéomorphologique** du **tronçon** à l'étude pour la période 1976-2013 ainsi que le portrait actuel du **lit mineur** ont été présentés. Les interactions entre la morphologie du **lit mineur**, la **dynamique morphosédimentaire** ainsi que les éléments du **lit mineur** influençant les processus **morphogènes** seront expliqués et discutés dans le chapitre suivant.

CARTE 2.9 LOCALISATION DES INFRASTRUCTURES PRÉSENTES DANS LE LIT MINEUR DE LA RIVIÈRE À MARS DANS LES UNITÉS MORPHODYNAMIQUES 1, 2 ET 3 (A, B ET C)





3. Discussion

3.1 Évolution du lit mineur

La complexité des interactions entre la morphologie du **lit mineur**, les processus **morphogènes** et l'**équilibre dynamique** est responsable de la variation de l'évolution du **lit mineur** de la rivière à Mars dans l'espace et dans le temps. La présente étude n'est qu'un suivi **hydrogéomorphologique** partiel en raison du manque d'information sur l'historique de l'évolution du **lit mineur** dans la période prédéluge (peu de photoaériennes et d'informations sur les conditions **hydrologiques**), sur les caractéristiques physiques du cours d'eau (que ce soit sur la pente, la granulométrie ou la composition des berges) ainsi que sur les conditions **hydrauliques** (par exemple, les vitesses d'écoulement ou la profondeur d'écoulement) affectant les processus **morphogènes**. Par conséquent, la discussion ne couvre que quelques-uns des facteurs responsables de l'évolution du **lit mineur** dans le temps et l'espace.

3.1.1 Période prédéluge

Le **lit mineur** de 1976 est caractérisé par une faible largeur, quelques méandres et de nombreuses sinuosités. L'évènement du déluge du Saguenay représente la plus grande réponse **hydrologique** observée dans la région tant par ses impacts sur les infrastructures et la sécurité civile, mais également sur les changements géomorphologiques de la rivière. Cette crue centenaire a affecté grandement l'**équilibre dynamique** de la rivière à Mars dans le **tronçon** à l'étude. Les effets observés ont été l'élargissement considérable du **lit mineur** ainsi que la linéarisation du chenal à l'amont du **tronçon**, passant d'un **tronçon** méandrique à quasi-linéaire. Malgré le manque d'information à ce sujet, les variations dans la pente provoquées par l'**incision** du chenal ou par l'**aggradation** peuvent également être supposées dans plusieurs **segments** meubles de la rivière. Considérant l'effet considérable de cette crue **morphogène** majeure sur l'**équilibre dynamique** de la rivière, la **géométrie planimétrique** du **lit mineur** de 1976 et 1996 représente le point de référence pour la discussion sur le suivi **HGM** de la période postdéluge.

3.1.2 Période postdéluge

Tout d’abord, Hupp *et al.* (2010) associent l’intensité du réajustement morphologique de la rivière à la sévérité de la perturbation. Cette association explique partiellement l’intensité des changements géomorphologiques observés à la suite du déluge de 1996 afin que le **lit mineur** revienne à un état d’**équilibre dynamique**. Ensuite, plusieurs structures statiques ont été construites afin de protéger les infrastructures présentes en bordure de la rivière face à l’érosion des berges. La stabilisation des berges peut provoquer l’**incision** ou l’**aggradation** du lit et de grands changements dans le transport sédimentaire (Piegay *et al.*, 2005; Hupp *et al.*, 2010; figure 0.4). Ces changements altèrent également l’**équilibre dynamique** du **lit mineur** et peuvent causer l’érosion locale, en amont ou en aval de l’infrastructure. Enfin, plusieurs crues majeures sont survenues à la suite du déluge pouvant perturber l’**équilibre dynamique** à nouveau. Considérant la variation de ces facteurs dans le temps et l’espace, chacun des **segments** du **tronçon** est discuté séparément en fonction de l’information disponible pour expliquer l’évolution et le réajustement du **lit mineur** de la rivière à Mars vers l’état d’équilibre.

3.1.2.1 UMD 1

La tendance évolutive de l’**UMD 1** illustre une réduction de la largeur du **lit mineur** ainsi qu’une reprise de l’amplification des sinuosités du chenal. Cette tendance semble toutefois s’estomper entre 2007 et 2008, où une reprise de l’élargissement du **lit mineur** est remarquée. L’absence de données sur le débit dans la série temporelle durant cette période ne permet pas d’associer l’évolution du **lit mineur** à une ou plusieurs crues **morphogènes**. L’élargissement du **lit mineur** survenu entre 2008 et 2010 peut s’expliquer partiellement par la séquence de crues, dont une crue printanière considérable. La légère réduction dans la largeur du **lit mineur** entre 2010 et 2013 peut s’expliquer par l’absence de crues majeures pendant cette période. D’une part, la tendance vers le retour à l’état d’équilibre semble fortement influencée par les conditions **hydrologiques** à l’échelle de l’**UMD**. D’autre part, les conditions **hydrauliques**

locales, affectées par la présence d'infrastructures statiques dans le **lit mineur**, semblent davantage affecter le réajustement à l'échelle du **segment**.

La présence de berges en érosion en aval du pont du Bec-Scie peut être expliquée par plusieurs facteurs. En premier lieu, la présence du barrage des Murailles en amont de l'**UMD 1** affecte le régime **hydrologique** (par exemple, la régulation des débits, la réduction de la fréquence et de l'amplitude de crue) ainsi que la dynamique sédimentaire en aval (c'est-à-dire le stockage des sédiments en amont et la réduction du transport sédimentaire). Williams et Wolman (1984) suggèrent d'ailleurs que le contrôle des débits réduit l'accumulation et la dégradation du chenal en aval de ce type d'infrastructure. En second lieu, la stabilisation des berges concaves dans les méandres a tendance à créer l'**incision** du chenal et celle-ci est accompagnée d'un changement de pente. Ce dernier influence la puissance de l'écoulement ainsi que la charge en sédiments (Charlton, 2008). Cela peut ainsi causer l'accélération et la redirection de l'écoulement à proximité de l'infrastructure (Kline *et al.*, 2009; Kline et Cahoon, 2010) pour ainsi déplacer les zones d'érosion vers l'aval. En troisième lieu, les enrochements protégeant les piliers de pont présents sur la berge droite semblent causer des zones de recirculation, soit à l'aval (pont du Bec-Scie) ou à l'amont (pont ferroviaire) de l'infrastructure statique, causant ainsi des zones propices à l'érosion lors de crues.

3.1.2.2 UMD 2

La tendance évolutive du **lit mineur** de l'**UMD 2** est celle possédant le plus de variation dans le temps et dans l'espace. Cette unité, *a priori* à méandres, a été linéarisée et élargie considérablement par le déluge de 1996, laissant le chenal libre de migrer au travers d'une grande quantité de sédiments dans un **lit mineur** très large. Ces dispositions peuvent aller jusqu'à induire un changement dans le patron géomorphologique de la rivière en fonction de la pente. La tendance à la réduction de la largeur du **lit mineur** et du retour vers un style sinueux semble avoir été freinée par la crue automnale de 2005. Cette crue **morphogène** est probablement responsable de la réduction de la sinuosité en amont, de même que l'apparition d'un second chenal de

débordement en aval qui a incisé la berge qui était, depuis le 1996, en **aggradation**. La faible récurrence de crues explique en grande partie la faible variation dans la **géométrie planimétrique** du **lit mineur** de 2007 à 2013, à l'exception de la sinuosité située à l'amont de l'**UMD 2** qui est fortement en érosion. Le **lit mineur** de cette **UMD** semble tendre vers un retour à un style sinueux dans la période postdéluge.

La présence d'infrastructures dans le **lit mineur** semble influencer le retour à l'**équilibre dynamique** dans cette **UMD**. Leurs effets sur l'**équilibre dynamique** se reflètent par les changements géomorphologiques observés à proximité des infrastructures construites à la suite du déluge afin de stabiliser les berges. La construction d'un enrochement dans la portion aval de l'**UMD 1** ainsi qu'à l'amont de l'**UMD 2** a accentué l'érosion à l'aval de ce **segment**. L'érosion est probablement causée par un changement de pente, causant l'accélération de l'écoulement et la redirection de l'écoulement vers les berges, et par la création de zones de recirculation de part et d'autre de l'enrochement. La déstabilisation dans l'équilibre du **lit mineur** se reflète par la forte intensité de l'érosion des berges dans les sinuosités à l'aval de l'enrochement. Des processus **morphogènes** similaires ont été également remarqués où un enrochement dans la portion médiane de l'**UMD 2** a été aménagé entre 1996 et 1998. L'infrastructure statique a également eu pour effet de déplacer l'aléa d'érosion local vers l'aval, intensifiant ainsi l'érosion des berges de ce **segment** au fil du temps. L'enrochement construit dans cette même période afin de protéger le chemin de fer au niveau de la berge gauche semble avoir redirigé l'écoulement vers la berge inverse lors de crues et pourrait avoir créé une immense zone de recirculation lors de la crue automnale de 2005, provoquant ainsi une immense zone d'érosion au niveau de la berge droite.

3.1.2.3 UMD 3

La tendance évolutive du **lit mineur** de l'**UMD 3** est caractérisée par une forte activité anthropique affectant l'**équilibre dynamique** et par le battement de marée affectant la zone estuarienne. Le **style fluvial** a évolué de sinueux à linéaire à la suite du déluge. Le déluge a linéarisé et élargi considérablement le **lit mineur** de cette **UMD**, et par la suite,

la linéarisation du chenal de nature anthropique a été réalisée afin de reconstruire et stabiliser les berges. Cette unité est restée relativement stable dans la période postdéluge à l'exception de quatre **segments** : (i) le **segment** méandriforme en aval du barrage Roméo-Tremblay; (ii) le **segment** linéaire en amont du pont de la route régionale 381; (iii) le **segment** entre ce dernier et les ponts de la route régionale 381 et la 6^e rue; et (iv) entre les ponts de la 6^e rue et de la route régionale 170. Cette tendance à l'érosion a partiellement été causée par les crues **morphogènes** et accentuée par la crue automnale de 2005. Néanmoins, les vagues et les ondes de marées pénétrant dans la rivière peuvent avoir eu un effet tampon sur les processus **morphogènes** de l'**UMD** ou, à l'inverse, un effet érosif (par exemple, en cas de tempête).

L'**UMD** 3 est située à l'aval d'un barrage. Comme discuté précédemment, les barrages consistent à des trappes à sédiments affectant l'**équilibre dynamique** par la rupture dans l'apport des sédiments permettant le réajustement des **segments** à l'aval. Dans ce cas-ci, le temps de résidence des sédiments stockés en amont aurait été temporaire. En effet, plusieurs cas de transport de sédiments au travers du barrage ont été observés par les utilisateurs de la rivière (COBRAM et OBV Saguenay, 2012). Néanmoins, la récurrence de ces événements, la taille granulométrique, la quantité de sédiments et le seuil de débit causant le transfert de sédiments demeurent inconnus en raison du manque d'informations. Par conséquent, les événements de transport n'ont pas été entièrement considérés dans l'analyse des effets du barrage sur la **dynamique morphosédimentaire**. Toutefois, la sévérité de l'érosion des berges situées à l'aval et le faible apport en sédiments provenant de l'amont peuvent être partiellement associés.

La linéarisation du chenal et la mise en place d'enrochements dans le **lit mineur** à la suite du déluge ont probablement provoqué l'**incision** du chenal. L'**incision** du chenal dans le **lit mineur** peut causer l'accélération de l'écoulement et la dépossession partielle ou complète de l'accès à la **plaine alluviale** de la rivière lors de crues. Ce changement géomorphologique peut ainsi découler en l'élargissement local du **lit mineur**, par l'érosion des berges engendrée par l'incapacité à évacuer le surplus d'eau dans le **lit**

mineur lors de crues majeures, ou par l'érosion des berges en aval provoquée par l'augmentation des vitesses d'écoulement. Les effets du réajustement vers l'**équilibre dynamique** face à la mise en place d'enrochements sont observés dans les deux **segments** sévèrement en érosion (soit ceux du méandre en aval du pont de la route régionale 381 et celui entre les ponts de la 6^e rue et celui ferroviaire). La faible intensité de l'érosion au niveau de la berge gauche du **segment** en aval du pont de la route régionale 381 s'explique également par l'**incision** du chenal, couplée à la défaillance de l'enrochement dans le haut de la structure. Une défaillance similaire de l'enrochement observée sur la berge de droite en amont du pont de la 6^e rue cause de l'érosion modérée.

L'érosion généralisée du **segment** linéarisé s'étendant de l'amont du pont de la 6^e rue jusqu'au pont ferroviaire peut s'expliquer par quatre autres facteurs que ceux reliés à l'**incision** du chenal. Premièrement, selon Hupp *et al.* (2010), l'occurrence d'évènements érosifs et de transport sédimentaire est plus élevée dans la portion amont du chenal linéarisé en raison de l'augmentation de la puissance de l'écoulement associée au changement dans la pente. Ensuite, la discontinuité dans l'enrochement à l'amont du pont de la 6^e rue accentue l'érosion en créant une zone de faiblesse dans la berge couplée à un courant de recirculation engendré par le pilier de pont. Troisièmement, les piliers présents dans le **lit mineur** altèrent également les conditions **hydrauliques** à l'aval. En effet, la redirection et la concentration de l'écoulement vers le centre du chenal, l'accélération de l'écoulement et la formation d'une zone de recirculation à l'aval du pilier accentuent probablement l'intensité des processus érosifs sur la berge gauche située entre les deux ponts. Et finalement, la présence de piliers de pont au niveau du pont ferroviaire pourrait également causer des changements similaires dans les conditions **hydrauliques**, incitant ainsi l'érosion de la berge gauche de part et d'autre de ce pont.

3.2 Dynamique morphosédimentaire

L'évolution du **lit mineur** illustre plusieurs cas d'érosion de différentes intensités et a été discutée à l'échelle des segments du **tronçon** pour la période postdéluge. La complexité des interactions entre les conditions **hydrauliques**, la morphologie du **lit mineur** et la **dynamique morphosédimentaire** qui influencent l'**équilibre dynamique** du **lit mineur** nécessite l'**approche par espace de liberté** en raison du caractère unique et de la nature de chacun des cas d'érosion. Néanmoins, plusieurs tendances évolutives du **lit mineur** de la rivière à Mars illustrent des perturbations dans la **dynamique morphosédimentaire**.

Le **tronçon** à l'étude est clairement en état de réajustement géomorphologique vers un état d'**équilibre dynamique**. Plusieurs tendances peuvent ressortir et expliquer leurs effets sur l'état d'équilibre de la rivière.

En premier lieu, la récurrence des crues **morphogènes** a affecté la mobilité du **lit mineur** en altérant la **dynamique morphosédimentaire**. Néanmoins, cet élément est tamponné par la présence du barrage des Murailles et, jusqu'à un certain degré, par le barrage Roméo-Tremblay, ces deux barrages réduisant l'amplitude et la récurrence des crues par leur contrôle sur le débit de la rivière (Richter *et al.*, 1996).

En second lieu, la présence d'infrastructures statiques dans le **lit mineur** affecte l'**équilibre dynamique** du **tronçon** à l'étude. Les enrochements et les piliers de pont ont tendance à altérer la **dynamique morphosédimentaire** en modifiant les conditions **hydrauliques** locales, et ce, même si ces infrastructures ne sont pas défailtantes. Tout d'abord, la stabilisation des berges a pour effet de déplacer les zones d'érosion, de transport et d'accumulation de sédiments. En effet, la présence d'infrastructures sur les berges du **lit mineur** redirige l'écoulement au lieu de permettre à la berge d'absorber l'énergie de l'écoulement en s'érodant proprement lors de crues (Kline et Cahoon, 2010; VRMP, 2011). Ensuite, l'**incision** causée par les enrochements coupe l'accès de l'écoulement à la plaine alluviale causant ainsi l'élargissement du chenal par l'érosion des berges (VRMP, 2011). De plus, l'**incision** et l'**aggradation** du lit altèrent la pente et

causent, du même coup, un changement dans la puissance de l'écoulement (Piegay *et al.*, 2005; Kline et Cahoon, 2010; VRMP, 2011). Cela a pour effet de déplacer longitudinalement les processus d'accumulation et d'érosion. Enfin, la présence de barrages altère la **dynamique morphosédimentaire** en bloquant, de manière permanente ou temporaire, le transport des sédiments vers l'aval. D'une part, le flux en sédiments contribue au réajustement des **segments** en érosion en permettant l'accumulation et l'**aggradation** au niveau des berges. D'autre part, l'interruption du flux affecte l'**équilibre dynamique** en causant le réajustement du **lit mineur** aux changements dans la **dynamique morphosédimentaire** (Hupp *et al.*, 2010). Cela entraîne généralement la réduction de l'accumulation et du stockage des sédiments, ainsi que la dégradation du chenal en aval (William et Wolman, 1984).

En dernier lieu, la linéarisation du chenal a influencé la **dynamique morphosédimentaire** en causant l'augmentation de la puissance de l'écoulement à l'amont. Cette augmentation facilite l'érosion des berges et du lit et le transport de sédiments dans la portion en amont du **segment** linéarisé (Hupp *et al.*, 2010). Cet effet n'est toutefois pas observé directement sur les berges en raison de la présence d'infrastructures statiques et de berges rocheuses dans la portion amont, mais le lit de ce **segment** pourrait être sujet à l'érosion. La présomption du changement dans la pente, couplée à la concentration de l'écoulement par les structures statiques, expliquerait les zones d'érosion en aval par l'effet d'un réajustement dans l'**équilibre dynamique** du **segment**.

L'interrelation entre les variations de la **dynamique morphosédimentaire** et l'**équilibre dynamique** du **tronçon** à l'étude a induit des changements géomorphologiques au niveau du **lit mineur**. L'évolution du **lit mineur** dans la plaine alluviale a apporté des conséquences dans le temps et représente un défi dans la gestion de la rivière pour les années futures.

3.3 Espace de liberté

La gestion du **lit mineur** de la rivière à Mars représente un défi en raison de sa nature dynamique, de la complexité des processus **morphogènes** et de la difficulté à prévoir son évolution. De plus, l'**approche par ingénierie** appliquée dans le **tronçon** à l'étude à la suite du déluge de 1996 semble avoir créé, déplacé ou accentué les processus érosifs en fonction des caractéristiques géomorphologiques du **lit mineur**. Cela a entraîné un réajustement plus lent du **lit mineur** vers un état d'équilibre. Le **tronçon** à l'étude présente quatre éléments qui, selon le VRMP (2011), favorisent davantage l'**approche par espace de liberté** que celle par ingénierie : (i) l'érosion généralisée sur une longue portion du **tronçon** à l'étude; (ii) la faible densité de population et d'activités anthropiques; (iii) la quantité négligeable d'infrastructures et de bâtiments sur la **plaine alluviale** diminuant potentiellement l'analyse de coût-bénéfice; et (iv) la présence du barrage des Murailles qui exerce un contrôle sur les débits **morphogènes**.

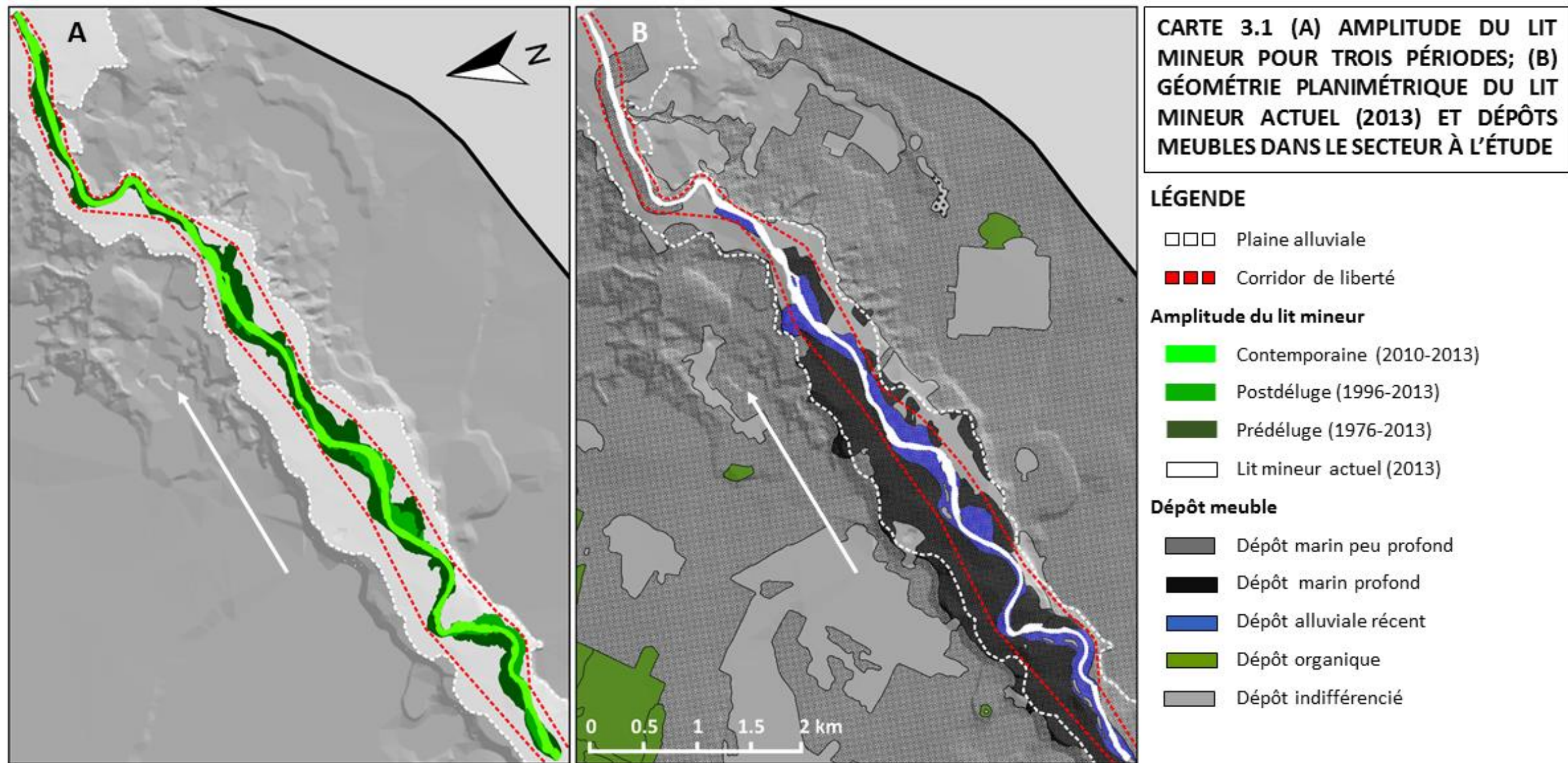
La carte 3.1 illustre la délimitation de la **plaine alluviale** et du **corridor de liberté** préliminaire du **tronçon** à l'étude pour la période 1976-2013. L'**espace de liberté** a été déterminé en fonction de trois paramètres : (i) l'amplitude du **lit mineur** pour quatre périodes dans le suivi **hydrogéomorphologique** (carte 3.1a); (ii) l'amplitude maximale atteinte par les méandres et les sinuosités (carte 3.1a); et (iii) les types de dépôts meubles et les limites de la **plaine alluviale** (carte 3.1b). La **plaine alluviale** représente la zone où le **lit mineur** peut potentiellement migrer dans la vallée de la rivière à Mars. Le **corridor de liberté** proposé par l'étude s'étend sur une portion de la plaine et longe ses limites par endroit. Il se situe généralement dans des dépôts marins profonds, alluviaux récents et indifférenciés qui laissent place aux processus **morphogènes** permettant le réajustement du **lit mineur** vers l'**équilibre dynamique**.

L'amplitude maximale atteinte par le **lit mineur** au cours du suivi, incluant l'année du déluge, est observée majoritairement dans des dépôts meubles moins cohésifs (c'est-à-dire des dépôts alluviaux récents et marins peu profonds). Par conséquent, les limites du corridor ont été tracées à partir de l'amplitude maximale du **lit mineur** de la période

postdéluge dans la portion aval de la zone d'étude. Dans la portion amont, l'amplitude maximale des sinuosités et des méandres observée dans la période incluant les années 1976 et 1996 a été utilisée afin de délimiter l'**espace de liberté** en raison du caractère dynamique de ce **style fluvial** (Piegay *et al.*, 2005). Les limites ont ainsi été tracées à partir de l'amplitude des méandres observée en 1976 (en d'autres mots, lorsque le **lit mineur** était moins perturbé) qui était plus élevée à certains endroits. La robustesse de la délimitation peut être assumée malgré un suivi effectué en deçà des 50 années, tel que proposé par Piegay *et al.* (2005), en raison de la présence d'un évènement de crue centenaire (le déluge du Saguenay) dans la période sondée.

Les périodes postdéluge et contemporaine illustrent l'évolution du **lit mineur** au sein de son **espace de liberté** à la suite du déluge de 1996. Le réajustement partiel du **lit mineur** s'est effectué majoritairement dans des dépôts alluviaux récents en raison de l'élargissement considérable occasionné par le déluge en 1996. Par conséquent, le **lit mineur** demeure dynamique à court terme en raison de la nature non cohésive de ce type de dépôts et du réajustement morphologique en cours. À long terme, la coupure du flux sédimentaire par les barrages des Murailles et Roméo-Tremblay risque de provoquer davantage de perturbation dans l'**équilibre dynamique** des **segments** en aval en raison de la baisse d'apport en sédiments permettant au **lit mineur** de se réajuster.

Néanmoins, beaucoup d'informations demeurent inconnues (par exemple, le bilan sédimentaire, la granulométrie, la pente, le taux d'érosion ou encore la sensibilité des berges à l'érosion) et nécessitent davantage d'investigation afin de comprendre les tendances évolutives, de prédire l'évolution du **lit mineur** et d'établir un **espace de liberté** fiable pour le **tronçon** à l'étude. Par conséquent, un suivi plus exhaustif et la réalisation d'une analyse coût-bénéfice du **corridor de liberté** seraient nécessaires afin d'appliquer cette approche de manière adéquate.



**ORGANISME DE
BASSIN VERSANT
DU SAGUENAY**



Comité de bassin
de la rivière à Mars
(COBRAM)

Auteur: Johan Bérubé
Sources: MRNF, 2008

3.4 Segments d'intervention prioritaire

Malgré la délimitation d'un **corridor de liberté** de part et d'autre de la rivière, l'intervention est fortement suggérée au niveau de plusieurs **segments** de la rivière à Mars afin de documenter l'évolution relative à chacun de ces segments. En effet, il peut s'avérer que l'instauration d'un **espace de liberté** est problématique pour certains secteurs. Dans le cas de la rivière à Mars, cela peut être le cas lorsque l'**espace de liberté** est à proximité d'infrastructures dont l'utilité est essentielle au bon fonctionnement des services de l'arrondissement de La Baie de la Ville de Saguenay (notamment les infrastructures routières ou ferroviaires), ou dans les **segments** où l'analyse coût-bénéfice serait potentiellement élevée. Dans ces deux cas, ces segments ne pourraient pas être laissés libres de migrer. Ces **segments** nécessiteraient toutefois l'acquisition d'informations et la mise en place d'un suivi régulier dans le temps.

Plusieurs **segments** nécessitant davantage d'informations et un suivi régulier sont présents dans les trois **UMD** du **tronçon** à l'étude. De l'amont vers l'aval de la rivière à Mars, les **segments** à proximité d'enrochements dans les **UMD** 1 et 2 doivent être davantage investigués et suivis afin d'évaluer leurs effets sur l'**équilibre dynamique**, l'efficacité et la durabilité de ces enrochements. L'évaluation des structures et l'analyse de coût-bénéfice à proximité des **segments** enrochés devraient être effectuées dans le **tronçon** à méandres de l'**UMD** 1. Les effets potentiels des enrochements à proximité du premier méandre sur les conditions **hydrauliques** locales pourraient accentuer les processus érosifs sur la berge droite à proximité du chemin de fer. Des effets similaires pourraient être observés au niveau de l'enrochement présent dans le méandre situé à l'aval du pont ferroviaire. Néanmoins, cet enrochement protège la voie ferroviaire située sur une falaise deltaïque (c'est-à-dire un dépôt marin peu profond) très sensible à l'érosion **fluviale**, éolienne ainsi qu'aux processus de versant. Le même type d'intervention devrait être effectué à proximité des enrochements de l'**UMD** 2, à l'exception de l'enrochement protégeant le chemin de fer situé sur la berge gauche dans la portion aval de l'**UMD**. En effet, la quantité négligeable de bâtiments, de résidents et d'activités anthropiques laisse potentiellement entrevoir une analyse coût-bénéfice

faible qui favorise l'application d'un **corridor de liberté** dans cette unité. Finalement, un suivi régulier devrait être réalisé sur l'ensemble de l'**UMD 3** en raison de la présence d'enrochements et d'affleurements rocheux influençant le réajustement de la rivière, et ce, particulièrement dans le **segment** entre le pont de la route régionale 381 et le pont ferroviaire.

Les interventions proposées dans cette section sont minimalistes afin d'adopter, dans la mesure du possible, l'**approche par espace de liberté** comme mode de gestion de la rivière à Mars dans le **tronçon** situé dans l'arrondissement de La Baie de la Ville de Saguenay. Pour ce faire, un changement radical dans les programmes publics est nécessaire, laissant de côté le paradigme de gestion de rivière priorisant l'intervention systématique sur chaque **segment** en érosion. Cela favorisera ainsi un retour plus rapide à l'état d'**équilibre dynamique**, ainsi qu'une gestion de l'érosion plus prévoyante (Kline *et al.*, 2006).

Conclusion

L'érosion des berges résulte d'une complexité d'interactions entre les processus **morphogènes**, affectant constamment l'**équilibre dynamique**, et les caractéristiques physiques des berges qui déterminent leur résilience face à l'érosion. L'érosion des berges représente fréquemment un défi dans la gestion des risques naturels dans les vallées alluviales. Les travaux anthropiques réalisés sur les rivières afin de contrôler cet aléa (notamment par de l'enrochement) et d'optimiser les activités anthropiques sur le territoire (par exemple, en linéarisant le cours d'eau) affectent également l'**équilibre dynamique** de ces cours d'eau. L'objectif de l'étude a été d'évaluer l'état d'équilibre du **tronçon** de la rivière à Mars compris entre le pont du Bec-Scie et celui de la route régionale 170.

D'une part, le suivi **HGM** du **lit mineur** a permis de ressortir plusieurs événements **morphogènes** à partir des données **hydrologiques** et de l'évolution de la **géométrie planimétrique** du **lit mineur**, tels le déluge du Saguenay de 1996 et la crue automnale de 2005. D'autre part, cela a permis de comprendre les processus qui ont mené à la structure **HGM** actuelle de la vallée alluviale de la rivière à Mars. Le suivi **HGM** a également permis de ressortir l'historique de l'aménagement du **lit mineur** au cours de son évolution. Le réajustement en cours son **lit mineur** s'explique par la perturbation majeure initiée par le déluge du Saguenay et par les crues **morphogènes** successives qui ont déstabilisé à nouveau le **lit mineur** de la rivière au niveau des dépôts vulnérables à l'érosion.

Les effets de l'aménagement d'infrastructures statiques dans le **lit mineur** et la linéarisation de la rivière à Mars sur l'**équilibre dynamique** sont également considérables. Les effets des crues sur la **dynamique morphosédimentaire** sont certes tamponnés par la présence de barrages, mais ces derniers créent des discontinuités dans le transport sédimentaire. Les coupures dans le transport des sédiments pourraient davantage affecter l'**équilibre dynamique** à plus long terme en réduisant considérablement l'apport en sédiments dans les **segments** en aval permettant le

réajustement du **lit mineur**. L'**incision** du lit engendrée par les enrochements semble provoquer soit un élargissement subséquent du **lit mineur**, soit un changement dans la pente qui déplace l'érosion en amont ou en aval. Les infrastructures ont également un impact sur les conditions **hydrauliques** locales (notamment par la création de zones de recirculation, la redirection et la concentration de l'écoulement) affectant la **dynamique morphosédimentaire** à proximité.

Le réajustement du **lit mineur** face aux changements dans la **dynamique morphosédimentaire** est ainsi évident et se traduit par l'intensité des processus érosifs observés le long des **segments** du **tronçon** étudié. La variabilité spatiale de l'intensité des processus érosifs s'explique par plusieurs facteurs. Tout d'abord, l'intensité du réajustement est fonction de la sévérité de la perturbation dans l'**équilibre dynamique** et chaque **segment** se réajuste en fonction de son état d'équilibre actuel. Ensuite, la présence d'infrastructures statiques à proximité du **lit mineur** accentue la déstabilisation du **lit mineur** en altérant la **dynamique morphosédimentaire**. Enfin, la résilience des berges face à l'érosion est déterminée par la nature des dépôts meubles dans lesquels la rivière s'écoule. Les zones où les processus érosifs les plus sévères ont été remarqués se situent au niveau des dépôts alluviaux récents, indifférenciés et marins de surface. Ces types de dépôts sont peu cohésifs et fortement sujets à l'érosion.

Toutes les connaissances actuelles, couplées à l'information acquise au cours du suivi **HGM**, ont permis de délimiter un **corridor de liberté** préliminaire afin de proposer une solution de rechange à l'**approche par ingénierie** non respectueuse de la **dynamique fluviale** de la rivière à Mars. L'**espace de liberté** proposé requiert cependant davantage de connaissances afin d'en affiner ses limites. De plus, la réalisation d'une analyse coût-bénéfice est fortement recommandée de part et d'autre de la rivière à des fins de réajustement du corridor et d'évaluation de la nécessité des infrastructures statiques présentes à proximité du **lit mineur**. Les interventions préliminaires proposées par cette étude contribuent à élaborer une méthode de suivi pour les **segments** nécessitant

davantage d'attention et d'acquérir plus d'informations sur la **dynamique morphosédimentaire**.

Les conditions physiques actuelles des rivières du bassin versant du Saguenay sont souvent le résultat de plus de 150 ans de crues, de processus **morphogènes** et d'activités anthropiques sur leur bassin versant et dans leur chenal respectifs. Les actions entreprises par les gestionnaires favorisant le réajustement vers un état **d'équilibre dynamique** d'un **tronçon** de rivière doivent, éventuellement, être appliquées à l'échelle du bassin versant. La planification des actions doit ainsi inclure les impacts cumulatifs de l'historique, ainsi que l'identification des priorités afin de traiter les multiples facteurs de stress qui ont perturbé l'équilibre du **lit mineur** et les caractéristiques du cours d'eau (Kline *et al.*, 2006; VRMP, 2011). Cela implique que chacune des décisions contemporaines concernant la gestion de la rivière devrait respecter les mêmes éléments que la planification et peser chacune des alternatives sur de plus grandes considérations spatiales et temporelles.

Ce dernier point demeure la pierre angulaire de la gestion, car le développement extensif d'infrastructures (qu'elles soient de type domiciliaire, commercial, industriel, routier ou ferroviaire) à l'intérieur de l'**espace de liberté** d'une rivière peut empêcher le cours d'eau d'atteindre à nouveau son état d'équilibre. Cette situation pourrait avoir des conséquences majeures (i) sur l'intégrité du cours d'eau en raison de la perte de résilience du **lit mineur** face aux processus érosifs, de la capacité d'atténuation de l'énergie de l'écoulement et des nombreux services écologiques apportés par la dynamique **fluviale**; (ii) la sécurité civile et l'économie en raison de l'exacerbation des inondations, des risques d'érosion **fluviale**, des dommages matériels et des conséquences économiques (Kline *et al.*, 2006); mais également (iii) sur les enjeux prioritaires visés par le plan directeur de l'eau de la rivière à Mars (COBRAM et OBV Saguenay, 2012).

Références

- CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE. 2014. *Archive des données de débits de la rivière à Mars pour la période 1998-2013*. En ligne : <http://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/graphique.asp?NoStation=060704>, consulté le 23 juin 2014.
- CHARLTON R. 2008. *Fundamentals of fluvial geomorphology*, Éditions Taylor & Francis e-Library, Oxon, Angleterre, 234 pages.
- COMITÉ DE BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE À MARS ET ORGANISME DE BASSIN VERSANT SAGUENAY. 2012. *Plan directeur de l'eau du bassin versant de la rivière à Mars*. Ville de Saguenay, 60 pages.
- DEMERS, S. ET T. BUFFIN-BÉLANGER. 2011. *Une méthode illustrée pour la sectorisation morphodynamique de la rivière Neigette (Québec)*, Le Géographe Canadien, vol. 55, no. 3 : aux pages 318 à 333.
- DEMERS S., T. OLSEN, T. BUFFIN-BÉLANGER, J-P. MARCHAND, P. BIRON et F. MORNEAU. 2014. *L'hydrogéomorphologie appliquée à la gestion de l'aléa d'inondation en climat tempéré froid : l'exemple de la rivière Matane (Québec)*, Physio-Géo, Vol. 8, aux pages 66 à 88.
- GÉOLOGIE DU QUÉBEC. 2011. *Regroupements lithologiques et failles – Extraction pour la zone des bassins versants du Saguenay*, fichiers informatiques géoréférencés, Québec.
- HUPP C.R., G.B. NOE et E.R. SCHENK. 2010. *Floodplains, equilibrium and fluvial geomorphic impacts of human alterations*, USGS Professional Paper, Virginia, aux pages 1 à 12.
- KLINE, M., B. CAHOON et K. DOLAN. 2006. *Managing toward stream equilibrium conditions*, Vermont River Management Program, à la page 3.
- KLINE, M. et B. CAHOON. 2010. *Protecting river corridors in Vermont*, Journal of the American Water Resources Association, vol. 46, no. 2, aux pages 227 à 236.
- KLINE, M., C. ALEXANDER, S. PYTLIK, S. JAQUITH ET S. POMEROY. 2009. *Vermont Stream Geomorphic Assessment Protocol Handbooks*. Vermont Agency of Natural Resources, Waterbury, VT.
- LANE E.W. 1955. *The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering*, Proc. Am. Soc. Civ. Eng., Vol. 81, No. 745, aux pages 1 à 17.
- LAWLER D.M. 1993. *The measurement of river bank erosion and lateral channel change: a review*, Earth Surface Processes and Landforms, vol. 18, aux pages 777 à 821.
- MASSON, M., G. GARRY ET J.-L. ALLAIS. 1996, *Cartographie des zones inondables : approche hydrogéomorphologique*, ministère de l'Équipement, ministère de l'Environnement, Les Editions Villes et Territoires, Paris La Défense, 100 pages.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE. 2008. *Carte écoforestière – Extraction des dépôts de surface pour la zone du bassin versant de la rivière à Mars*. Fichiers informatiques géoréférencés, Québec.

- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE. 2009a. *Base de données topographiques et administratives à l'échelle de 1 : 20 000 – Extraction pour le réseau hydrographique du Saguenay-Lac-Saint-Jean*, Direction de la cartographie générale et administrative, fichiers informatiques géoréférencés, Québec.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE. 2009b. *Base de données topographiques et administratives à l'échelle de 1 : 250 000 – Extraction de la zone de bassin versant de la rivière à Mars*, Direction de la cartographie générale et administrative, fichiers informatiques géoréférencés, Québec.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE. 2009c. *Base de données topographiques et administratives à l'échelle de 1 : 20 000 – Extraction pour les limites des régions administratives du Québec*, Direction de la cartographie générale et administrative, fichiers informatiques géoréférencés, Québec.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE. 2009d. *Base de données topographiques et administratives à l'échelle de 1 : 20 000 – Extraction pour les limites des MRC des régions administratives du Saguenay-Lac-Saint-Jean et de la Capitale-Nationale*, Direction de la cartographie générale et administrative, fichiers informatiques géoréférencés, Québec.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE. 2009e. *Base de données topographiques et administratives à l'échelle de 1 : 20 000 – Extraction pour les limites des municipalités des régions administratives du Saguenay-Lac-Saint-Jean et de la Capitale-Nationale*, Direction de la cartographie générale et administrative, fichiers informatiques géoréférencés, Québec.
- NANSON G.C. et J.C. CROKE. 1992. *A genetic classification of floodplains*, Geomorphology, vol. 4, n° 6, aux pages 459 à 486.
- ORGANISME DE BASSIN VERSANT DU SAGUENAY. 2013. *Caractérisation des bandes riveraines de la rivière à Mars*, Ville de Saguenay, 50 pages.
- PIÉGAY H., M. CUAZ, E. JAVELLE et P. MANDIER. 1997. *A new approach to bank erosion management: the case of the Galaure river, France*, Regulated Rivers: Research and Management, vol. 13, aux pages 433 à 448.
- PIÉGAY H., S.E. DARBY, E. MOSSELMAN et N. SURIAN. 2005. *A review of techniques available for delimiting the erodible corridor: A sustainable approach to managing bank erosion*, River Research and Applications, Vol. 21, aux pages 773 à 789.
- RICHTER B.D., J. BAUMGARTNER, J. POWELL et D. BRAUN. 1996. *A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems*, Conservation Biology, vol.10, aux pages 1163 à 1174.
- VERMONT RIVERS MANAGEMENT PROGRAM. 2011. *Introduction to dynamic equilibrium*. Vermont River Management Program, 4 pages.
- VILLE DE SAGUENAY. 2013. *Banque de données sur les orthophotos des zones habitées de Ville de Saguenay*. Fichiers informatiques géoréférencés.

WILLIAMS G.P. et M.G. WOLMAN. 1984. *Downstream effects of dams on alluvial rivers*, USGS Professional Paper, vol. 1286, 83 pages.

En partenariat avec



Rédigé par



ORGANISME DE
BASSIN VERSANT
DU SAGUENAY

24, rue Racine Ouest
Ville de Saguenay, arr. Chicoutimi (QC)
G7J 1E2
(418) 973-4321

Courriel COBRAM : cobram@obvsaguenay.org
Courriel OBV Saguenay : info@obvsaguenay.org
Site WEB : www.obvsaguenay.org
Page Facebook : www.facebook.com/obvsaguenay