

Étude de la dynamique du bois mort en rivière et de son impact sur la migration anadrome du Saumon de l'Atlantique dans la rivière Port-Daniel



LERGA
Laboratoire d'expertise et
de recherche en géographie appliquée

UQAC
Université du Québec
à Chicoutimi

 Fondation de la faune du Québec

 Sépaq

 Sépaq
Réserve faunique
de Port-Daniel

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Superviseur :	Maxime Boivin, Ph. D. géographie Hydrogéomorphologue Université du Québec à Chicoutimi
Chargé de projet :	Johan Bérubé, M.Sc. géographie hydrogéomorphologue Université du Québec à Chicoutimi
Rédaction et analyse	Johan Bérubé, M.Sc. géographie hydrogéomorphologue Maxime Boivin, Ph. D. géographie hydrogéomorphologue
Aide sur le terrain	Léonie Savard, Candidate B.Sc Géographie Jean-Benoit Tremblay, B.Sc. Géographie
Cartographie et figures :	Johan Bérubé, M.Sc. géographie hydrogéomorphologue
Support terrain :	Yves Briand, Directeur de la Réserve faunique de Port-Daniel, SÉPAQ Équipe de la Réserve faunique de Port- Daniel, SÉPAQ
Révision de fond :	Amélie Gilbert, Biologiste et conseillère Faune et Territoire, SÉPAQ

Supports financiers :

- Société des établissements de plein air du Québec (SÉPAQ)
- Réserve faunique de Port-Daniel (SÉPAQ)
- Fondation de la Faune du Québec (FFQ)
- Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)
- Laboratoire d'expertise et de recherche en géographie appliquée - LERGA (UQAC)

Référence à citer :

Bérubé, Johan et Boivin, Maxime. 2020. Étude de la dynamique du bois mort en rivière et de son impact sur la migration anadrome du Saumon de l'Atlantique dans la rivière Port-Daniel. Rapport présenté à la Société des établissements de plein air du Québec (SEPAQ). Laboratoire d'expertise et de recherche en géographie appliquée. LERGA-001-UQAC. 68 pages + annexes.

Page de couverture : Vue oblique de la portion amont l'embâcle massif en amont du delta de la rivière Port-Daniel. Été 2019.

RÉSUMÉ

La notoriété des rivières gaspésiennes est fondée, d'une part, sur la couleur émeraude de l'eau, de leurs eaux poissonneuses, mais également sur leurs bassins versants réactifs et toutes les conséquences que cela peut engendrer (p.ex. crues exceptionnelles, érosion, inondation, avulsion, production de bois en rivière, etc.). Suite aux crues majeures et consécutives de 2010 et 2011, les gestionnaires de la réserve faunique de Port-Daniel ont observé la présence d'un embâcle de bois majeur obstruant le chenal dans la portion aval de la rivière Port-Daniel. Cette obstruction a apporté son lot d'inquiétudes et de soucis par rapport au comportement migratoire ainsi qu'à l'abondance du Saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*). C'est dans cette optique qu'une étude hydrogéomorphologique dans la rivière Port-Daniel a été commandée afin d'évaluer l'impact des embâcles de bois sur la montaison du saumon. L'objectif général a été d'analyser la dynamique du bois en rivière afin d'en évaluer son impact sur la trajectoire géomorphologique du cours d'eau et sur la migration anadrome du saumon.

Le suivi historique du lit mineur a été réalisé à partir de séquences temporelles de photographies aériennes (1964, 1975, 1986 et 2001), d'orthophotographies (2004 et 2016), d'imagerie satellitaire (2010, 2013, 2018) et de drone (2019). Les modifications observées dans la géométrie planimétrique du lit mineur a permis de caractériser les processus et les ajustements morphologiques (migration latérale, avulsion, recouplement de méandre) et de quantifier l'érosion (calcul de taux de recule, surface érodée) pour chacune des époques. L'évaluation du bilan ligneux a été effectuée sur environ 15 km du corridor fluvial de la rivière Port-Daniel. Le bilan a été dressé à partir des apports (estimé à partir des surfaces érodées dans le temps et de la densité volumétrique), du bois en transition (mesuré dans le corridor fluvial à l'été 2019) ainsi qu'en accumulation (mesuré dans la zone deltaïque). L'analyse des résultats a ensuite permis de dresser un diagnostic à partir des caractéristiques hydrogéomorphologiques pour ainsi évaluer la trajectoire géomorphologique de la rivière Port-Daniel.

Le bilan ligneux de la rivière Port-Daniel n'indique en aucun cas que le bois présent dans le corridor fluvial, incluant l'embâcle majeur observé à la suite des crues de 2010 et 2011, constitue une restriction à la montaison et la dévalaison du saumon. En effet, le chenal principal, autrefois obstrué par un embâcle massif, a emprunté un tracé différent possédant des caractéristiques hydrogéomorphologiques favorables à la migration anadrome de salmonidés. De plus, les analyses et les observations terrain ont démontré que la formation de ces embâcles massifs a contribué à la reconstruction de la plaine alluviale et que plusieurs des embâcles présents ont permis au chenal de se stabiliser. La présence et l'activité du Castor du Canada (*Castor canadensis*) ont été également observées. Toutefois, la dimension, les caractéristiques et la localisation des barrages présents dans le chenal migratoire ainsi que la littérature ne montrent pas ces structures comme des nuisances aux mouvements des salmonidés.

Table des matières

I	INTRODUCTION	1
	<i>a. Objectif général et objectifs spécifiques</i>	1
II	CADRE THÉORIQUE	3
	<i>a. L'hydrogéomorphologie, la trajectoire géomorphologique et leur influence sur la dynamique du bois mort</i>	3
	<i>b. Dynamique du bois en rivière</i>	8
	<i>c. La gestion du bois mort en rivière et les interactions avec le saumon de l'Atlantique</i>	10
	<i>i. Enjeux de gestion</i>	10
	<i>ii. Impact sur la diversité morphologique du lit</i>	11
	<i>iii. Impact sur les habitats fauniques</i>	12
III	CADRE MÉTHODOLOGIQUE	14
	<i>a. Contexte géographique et présentation du corridor fluvial à l'étude</i>	14
	<i>b. Caractérisation et segmentation fluviale</i>	17
	<i>c. Analyse de la trajectoire géomorphologique</i>	21
	<i>d. Évaluation du bilan ligneux et analyse de la dynamique du BM</i>	23
IV	RÉSULTATS	25
	<i>a. Caractérisation et segmentation fluviale</i>	25
	<i>b. Analyse de la trajectoire géomorphologique</i>	32
	<i>c. Évaluation du bilan ligneux et analyse de la dynamique du BM</i>	37
V	DISCUSSION	40
	<i>a. Interactions entre la dynamique fluviale, du bois mort et la trajectoire géomorphologique de la rivière Port-Daniel</i>	41
	<i>b. Migration anadrome du Saumon de l'Atlantique</i>	47
	<i>i. Influence de la présence de bois en rivière</i>	50
	<i>ii. Influence des barrages de castor</i>	52
	<i>c. Interventions proposées</i>	54
	<i>i. Démantèlement et entretien des embâcles</i>	54
	<i>ii. Suivi de la dynamique du bois en rivière</i>	56
	<i>iii. Suivi et étude sur la présence des barrages de castor</i>	57
	<i>iv. Acquisition de données sur la rivière Port-Daniel</i>	58
VI	CONCLUSION	62
VII	Bibliographie	65
	Annexes	69
	Annexe 1 : Glossaire hydrogéomorphologique	70
	Annexe 2 : Dossier photographique	74
	Annexe 3 : Documents historiques	80
	Annexe 4 : Fiches terrain pour la prise de données, tableau résumé des stations d'inventaire végétal et carte des distributions longitudinales des puissances spécifiques	90

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. SCHÉMATISATION DES COMPOSANTES DE LA DYNAMIQUE FLUVIALE ET DES DIFFÉRENTES INTERACTIONS	4
FIGURE 2. SCHÉMATISATION DU CONTINUUM DE LA DYNAMIQUE HYDROSÉDIMENTAIRE OBSERVÉ À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT	5
FIGURE 3. CLASSIFICATION DES STYLES FLUVIAUX SELON CHURCH (1992)	7
FIGURE 4. SCHÉMATISATION DE LA TRAJECTOIRE HYDROGÉOMORPHOLOGIQUE	8
FIGURE 5. COMPOSANTES ET INTERRELATIONS DE LA DYNAMIQUE DU BOIS DANS LES RIVIÈRES DE RÉGIONS FROIDES PAR UNE APPROCHE DE BILAN LIGNEUX	9
FIGURE 6. A) SURCREUSEMENT SOUS UN TRONC ET ACCUMULATION À L'AVAL ; B) ACCUMULATION EN AMONT D'UN EMBÂCLE ET SURCREUSEMENT EN AVAL ; ET C) TRONC REDIRIGEANT L'ÉCOULEMENT SUR LA BERGE OPPOSÉE CAUSANT DE L'ÉROSION ET ACCUMULATION EN AVAL	12
FIGURE 7. LOCALISATION DU CORRIDOR FLUVIAL À L'ÉTUDE À L'ÉCHELLE DU (A) QUÉBEC, DE (B) L'EST-DU-QUÉBEC ET DU (C) BASSIN VERSANT	15
FIGURE 8. PRÉSENTATION DE SÉRIE TEMPORELLE DES DONNÉES DE DÉBITS DES RIVIÈRES BONAVENTURE ET YORK POUR LA PÉRIODE 1983 À 2019	17
FIGURE 9. PRÉSENTATION DU CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE DU CORRIDOR FLUVIAL À L'ÉTUDE	18
FIGURE 10. LOCALISATION DES DIFFÉRENTES STATIONS D'INVENTAIRE LE LONG DU CORRIDOR FLUVIAL À L'ÉTUDE	20
FIGURE 11. LOCALISATION DES SECTIONS TRANSVERSALES UTILISÉES POUR QUANTIFIER LA MIGRATION LATÉRALE ET PRÉSENTATION DU TRACÉ FLUVIAL DU LIT MINEUR DE (A) 1964 ET (B) DE 2016	22
FIGURE 12. PRÉSENTATION DES CARACTÉRISTIQUES DES BERGES (A) ET SEGMENTATION DU CORRIDOR FLUVIAL (B)	26
FIGURE 13. DISTRIBUTION LONGITUDINALE DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE. LA COURBE DE RÉGRESSION LINÉAIRE EST REPRÉSENTÉE EN POINTILLÉ ROUGE	26
FIGURE 14. PRÉSENTATION DU TYPE ET DE L'ÉTAT DES BERGES DANS LE SEGMENT SINUEUX À AFFLEUREMENT ROCHEUX (SEGMENT A) EN AMONT DU CORRIDOR À L'ÉTUDE	28
FIGURE 15. LOCALISATION DES QUATRE SEGMENTS SUR LE PROFIL EN LONG ET PRÉSENTATION DES PENTES ISSUES DE DROITES RÉGRESSIVES DE CHACUN DES SEGMENTS	29
FIGURE 16. PRÉSENTATION DU TYPE ET DE L'ÉTAT DES BERGES DANS LE SEGMENT SINUEUX SEMI-ALLUVIAL (SEGMENT B) À L'INTÉRIEUR DU CORRIDOR À L'ÉTUDE	30
FIGURE 17. PRÉSENTATION DU TYPE ET DE L'ÉTAT DES BERGES DANS LE SEGMENT ALLUVIAL-SINUEUX (SEGMENT C) À L'INTÉRIEUR DU CORRIDOR À L'ÉTUDE	31
FIGURE 18. PRÉSENTATION DU TYPE ET DE L'ÉTAT DES BERGES DANS LE SEGMENT DELTAÏQUE (SEGMENT D) À L'AVAL DU CORRIDOR À L'ÉTUDE	31
FIGURE 19. ÉVOLUTION HISTORIQUE DU LIT MINEUR ENTRE 1964 ET 2019 DANS LE CORRIDOR FLUVIAL À L'ÉTUDE	33
FIGURE 20. ÉVOLUTION DU TRACÉ FLUVIAL DANS LE SEGMENT DELTAÏQUE ENTRE 1964 ET 2019	36
FIGURE 21. DISTRIBUTION SPATIALE DES EMBÂCLES DE BOIS MORT PRÉSENT DANS LE CORRIDOR FLUVIAL À L'ÉTUDE	37
FIGURE 22. PRÉSENTATION DE LA COURBE CUMULÉE DE VOLUME DE BOIS EN FONCTION DE LA POSITION LONGITUDINALE, DES SEGMENTS ET DE LA PENTE DU LIT	38
FIGURE 23. ÉVOLUTION TEMPORELLE DES SUPERFICIES ÉRODÉES, DU VOLUME DE BOIS APPORTÉ EN RIVIÈRE (VOLUMES TOTAUX ET ANNUELS POUR CHACUNE DES SÉQUENCES TEMPORELLES).	44
FIGURE 24. COUPE SCHÉMATIQUE D'UNE PLAINE ALLUVIALE; B) REPRÉSENTATION DE LA COUPE DANS L'EMBOUCHURE DE LA RIVIÈRE PORT-DANIEL	45
FIGURE 25. CYCLE DE LA PLAINE ALLUVIALE	46
FIGURE 26. LOCALISATION DES EMBÂCLES DE BOIS, DES BARRAGES DE CASTOR SELON LEUR TAILLE ET LOCALISATION DES PROFILS TRANSVERSAUX DANS LE SEGMENT D (DELTA)	47
FIGURE 27. PRÉSENTATION DES PROFILS TRANSVERSAUX T1 À T8.	48
FIGURE 28. PRÉSENTATION DES PROFILS TRANSVERSAUX T9 À T14.	49
FIGURE 29. VUE OBLIQUE DE LA PARTIE AMONT DE L'EMBOUCHURE DE LA RIVIÈRE PORT-DANIEL	55
FIGURE 30. EXEMPLE DE PASSE MIGRATOIRE AU NIVEAU D'UN BARRAGE DE CASTOR	58

Liste des Tableaux

TABLEAU 1. PRÉSENTATION DE LA VARIABILITÉ INTRA-ANNUELLE DES PRÉCIPITATIONS MOYENNES LIQUIDES ET SOLIDES À LA STATION MÉTÉOROLOGIQUE DE PORT-DANIEL (STATION NO. 7056120) ENTRE 1964 À 2019	16
TABLEAU 2. CARACTÉRISTIQUES MORPHODYNAMIQUES DE CHACUN DES SEGMENTS PRÉSENTS DANS LE CORRIDOR FLUVIAL À L'ÉTUDE.	27
TABLEAU 3. QUANTIFICATION DE LA MIGRATION LATÉRALE ET CALCUL DES TAUX ANNUELS DE REcul DANS LES TRONÇONS DYNAMIQUES IDENTIFIÉS DANS LE CORRIDOR FLUVIAL À L'ÉTUDE. LES VALEURS EN ROUGE INDIQUENT LES VALEURS QUI ONT ÉTÉ CALCULÉES À PARTIR DE LA SÉQUENCE TEMPORELLE ANTÉRIEURE À CELLE NON-DISPONIBLE (ND)	35
TABLEAU 4. PRÉSENTATION DE L'APPORT EN BM ESTIMÉ À PARTIR DES SUPERFICIES ÉRODÉES ET DE LA DENSITÉ VOLUMÉTRIQUE MOYENNE DU CORRIDOR FLUVIAL	39
TABLEAU 5. INTERVENTIONS POSSIBLES POUR UNE GESTION DURABLE DES BOIS EN RIVIÈRE	56

I INTRODUCTION

La notoriété des rivières gaspésiennes est fondée, d'une part, sur la couleur émeraude de l'eau, de leurs eaux poissonneuses, mais également sur leurs bassins versants réactifs et toutes les conséquences que cela peut engendrer (p.ex. crues exceptionnelles, érosion, inondation, avulsion, production de bois en rivière, etc.).

La rivière Port-Daniel ne démontre pas de cette tendance. D'ailleurs, cette dernière a connu des épisodes de crue importants dans le passé qui ont modifié son tracé et sa morphologie. En effet, suite aux crues majeures et consécutives de 2010 et 2011, les gestionnaires de la réserve faunique de Port-Daniel ont observé la présence d'un embâcle de bois majeur obstruant le chenal dans la portion aval de la rivière Port-Daniel. Cette obstruction a apporté son lot d'inquiétudes et de soucis par rapport au comportement migratoire ainsi qu'à l'abondance du Saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*). Par conséquent, cela a incité les gestionnaires à commander une étude hydrogéomorphologique dans la rivière Port-Daniel afin d'évaluer l'impact des embâcles de bois sur la montaison du saumon. Le cas de l'embouchure de la rivière Port-Daniel a des similitudes avec celui de la rivière Saint-Jean (Gaspé) en ce qui a trait à sa position en amont d'un barchois et de son delta encaissé dans le relief.

a. Objectif général et objectifs spécifiques

L'objectif général de cette étude consiste à décrire la dynamique du bois mort (BM) en rivière, d'en évaluer l'impact sur le comportement migratoire du Saumon de l'Atlantique pour ainsi émettre des recommandations aux gestionnaires de la rivière Port-Daniel. Pour ce faire, plusieurs objectifs spécifiques sont nécessaires à la compréhension des multiples interactions entre les dynamiques fluviales et du BM en rivière ainsi que leurs influences sur le comportement migratoire de cette espèce anadrome :

- L'analyse et la compréhension des interactions entre les processus fluviaux et la dynamique du BM en rivière;
- L'analyse de la restriction pour la migration anadrome du poisson en lien avec les embâcles;
- La proposition de scénarios d'intervention potentielle ou de recommandations, si nécessaire.

Le rapport d'étude est divisé en cinq chapitres permettant de mener à terme les objectifs de l'étude. Tout d'abord, les chapitres II et III sont dédiés, respectivement, au cadre théorique couvrant l'ensemble des connaissances nécessaires afin de comprendre les notions et les résultats de l'étude, ainsi que la méthodologie utilisée. Ensuite, les résultats de chacun des volets de recherche de l'étude sont présentés dans le chapitre III et discutés dans le chapitre IV. Enfin, les propositions d'intervention sont présentées dans le chapitre IV et la conclusion dans le chapitre V.

II CADRE THÉORIQUE

Les cours d'eau sont des entités dynamiques évoluant constamment dans le temps et l'espace afin d'atteindre un certain état d'équilibre. L'état d'équilibre n'est jamais réellement atteint en raison de la fréquence à laquelle les cours d'eau sont soumis aux processus morphodynamiques typiques de la dynamique fluviale (p.ex. migration latérale, incision et aggradation du lit) ainsi qu'aux perturbations (c.-à-d. anthropiques ou naturelles). Par conséquent, l'évolution dans le temps et l'espace du cours d'eau est directement liée aux variations dans la fréquence et l'intensité de ces processus à l'échelle du bassin versant. Par exemple, un cours d'eau peut sembler très dynamique, instable et s'éroder dans un même tronçon pendant une période de 20 ans, alors que de nombreux processus se sont activés suite à la linéarisation d'un cours d'eau. Toutefois, ce même cours d'eau peut sembler en état d'alternance et demeurer relativement stable sur une période de plus de 100 ans. Le concept de **trajectoire géomorphologique** permet d'observer et de ressortir les tendances évolutives et l'alternance de l'état d'un cours d'eau sur une période de temps. Ce concept s'applique à l'aide d'une approche **hydrogéomorphologique**, plus compréhensive des composantes de l'environnement fluvial. Pour des compléments d'information, le guide sur la dynamique du bois en rivière et sur l'hydrogéomorphologie (Boivin *et al.*, 2019) approfondit davantage les éléments présentés dans les prochaines sections.

a. L'hydrogéomorphologie, la trajectoire géomorphologique et leur influence sur la dynamique du bois mort

L'hydrogéomorphologie se définit par l'étude des processus, des formes et des rétroactions inhérentes à la dynamique fluviale et de leur évolution à différentes échelles spatiales et temporelles. Cela inclut ainsi l'évolution dans le temps et l'espace des composantes fondamentales de la dynamique fluviale, soit la morphologie du cours d'eau (c.-à-d. les formes), le transport sédimentaire et la structure de l'écoulement (c.-à-d. les conditions hydrauliques et hydrologiques) (Figure 1). Les interactions possibles entre ces composantes sont la clé pour comprendre l'évolution d'un cours d'eau. Par exemple, la hausse des débits couplée à l'augmentation des conditions hydrauliques (structure de l'écoulement) provoque la mise en transport de sédiments emmagasinés au niveau du lit et des berges. Ces processus érosifs et de transport des sédiments apportent une modification au niveau des formes du lit (morphologie) présentes dans le cours d'eau. Les sédiments peuvent alors se déposer en aval à la suite d'une

diminution des vitesses d'écoulement pouvant éventuellement résulter en la formation d'un nouveau banc d'accumulation, un changement de direction de l'écoulement vers une berge meuble, ou bien cela peut contribuer au rehaussement en altitude du lit de la rivière (processus d'aggradation).

La création et la modification des formes du lit influencent en retour la structure de l'écoulement en altérant la résistance à l'écoulement, modifiant la pente et provoquant ainsi une augmentation ou réduction des vitesses d'écoulement. Ainsi, l'ensemble de ces trois variables clés influencent la dynamique et la trajectoire d'un système fluvial par des interactions bidirectionnelles (structure de l'écoulement et transport de sédiment, ainsi que pour la morphologie et le transport de sédiments) et unidirectionnelles (morphologie et structure de l'écoulement). Les modifications au niveau morphologique ne peuvent être réalisées uniquement par la structure de l'écoulement, car ces changements sont engendrés par le transport sédimentaire. Finalement, l'ensemble de ces trois composantes vont aussi avoir des interactions avec la dynamique du bois en rivière en modifiant la structure de l'écoulement (p.ex. redirection, ralentissement...), le transport des sédiments (par ex. : accumulation en amont d'un embâcle) et avec la morphologie (p.ex. création de bancs d'accumulation). Dans ce contexte, il est donc essentiel d'analyser ces trois composantes afin d'établir un diagnostic hydrogéomorphologique complet et d'analyser les modifications potentielles liées à la présence de bois en rivière.

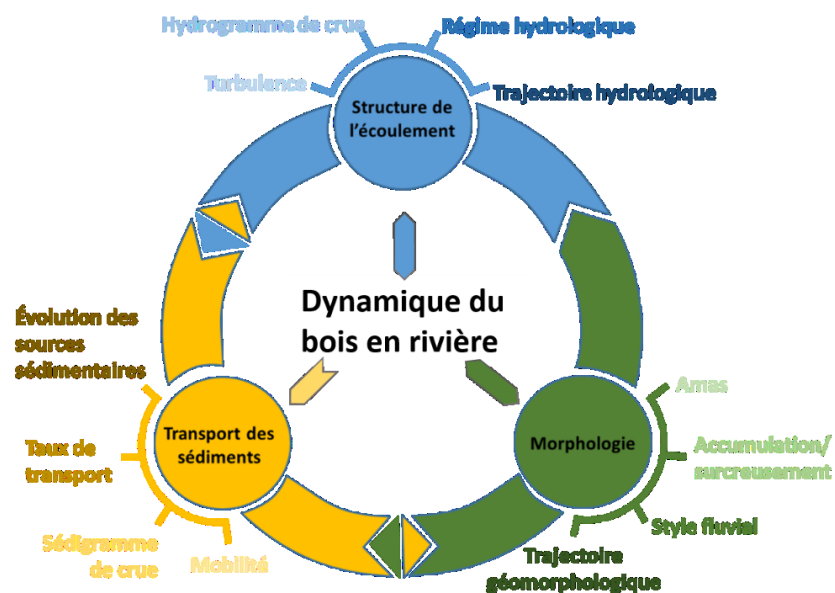


Figure 1. Schématisation des composantes de la dynamique fluviale et des différentes interactions (adaptée de Leeder [1983])

Afin de mieux saisir l'évolution du corridor fluvial, la variabilité dans les composantes de la dynamique fluviale doit être considérée sous la forme d'un continuum appliqué à l'échelle du bassin versant. La Figure 2 schématise la variabilité longitudinale dans la **dynamique hydrosédimentaire** en divisant le système fluvial en trois zones associées aux configurations géométriques d'une vallée fluviale (Schumm, 1977). Ces trois zones comportent différentes caractéristiques morphodynamiques influençant le transport des sédiments de leur source jusqu'à leur évacuation du système. Dans la portion amont, les écoulements sont plus puissants en raison des fortes pentes et de leur faible largeur qui permettent la mise en transport de sédiments plus grossiers. Les processus favorisant l'érosion du lit, des berges ainsi que les phénomènes de versant (p.ex. glissement de terrain, coulée de boue, etc.) font de cette section la principale source en sédiments d'un système fluvial. La zone médiane s'avère la zone de transport où les sédiments y sont entreposés temporairement au niveau des bancs d'accumulation et de la plaine alluviale. Cette dernière est fréquemment remaniée par le transport sédimentaire, la migration latérale du chenal principal qui provoque l'érosion et la construction d'une plaine alluviale au fil des crues. La portion aval constitue l'exutoire du système fluvial où l'accumulation est prédominante en raison de la perte de compétence de l'écoulement. L'accumulation importante de sédiments à cet endroit permet la formation d'un secteur à plusieurs chenaux communément nommée delta.

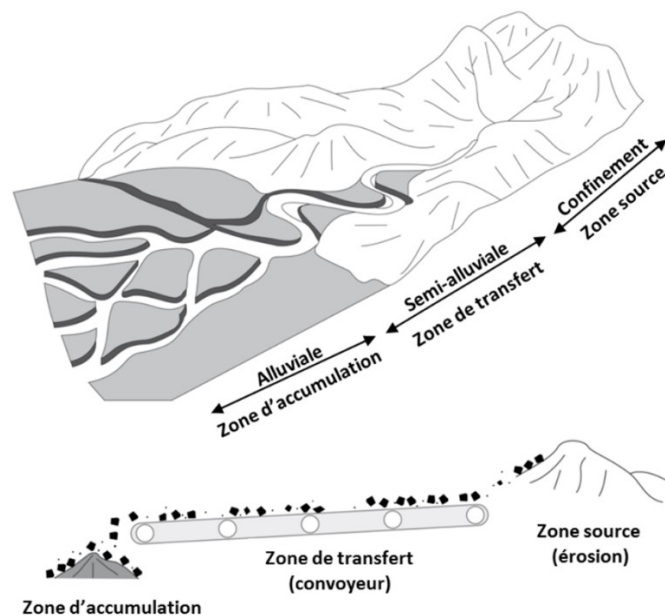


Figure 2. Schématisation du continuum de la dynamique hydrosédimentaire observé à l'échelle du bassin versant (adaptée de Brierley et Fryirs. 2005)

L'assemblage des processus et des caractéristiques morphologiques du corridor fluvial permet également la classification de tronçons de rivière en différents styles fluviaux. La classification de Church (1992) permet d'associer chacun de ses tronçons à des processus morphodynamiques dominant la dynamique fluviale selon plusieurs caractéristiques telles que la pente du chenal, la taille granulométrique, le type de transport et la puissance spécifique. La puissance spécifique représente la valeur de potentiel d'énergie appliquée par unité de surface (voir équation 2). Elle s'avère une variable discriminante permettant de différencier grossièrement les différents segments et les styles fluviaux tout au long du corridor fluvial (Bernet *et al.*, 1996; Schmitt *et al.*, 2000). L'identification du style fluvial à partir de l'ensemble des caractéristiques morphodynamiques permet de simplifier la réalité et de comprendre la dynamique fluviale et l'évolution du tronçon à l'échelle locale et du bassin versant (Figure 3).

Le concept de **trajectoire hydrogéomorphologique (HGM)** permet de ressortir des tendances et des perturbations dans l'évolution d'un cours d'eau sur une période de temps (Brierley *et al.*, 2008; Dufour et Piégay, 2009). L'analyse de la trajectoire HGM s'effectue à partir de la compréhension de la dynamique fluviale passée et actuelle, de l'évolution de cette dernière dans le temps et ce, à multiples échelles spatiales (c.-à-d. tronçon, corridor, bassin versant). Par exemple, la rupture d'un barrage pourrait engendrer un ajustement majeur du système fluvial (Figure 4). En effet, cet évènement perturbateur pourrait avoir créé des taux de recul considérables au niveau des berges en aval et apporter une grande quantité de bois à la rivière. Le système fluvial s'est par la suite ajusté progressivement à cet apport au fil des crues jusqu'au moment où le bois mort a formé un embâcle massif obstruant le chenal, créer des inondations majeures ainsi que la formation d'un second chenal d'écoulement (c.-à-d. avulsion). À l'aide des connaissances sur la dynamique fluviale acquises à différentes échelles ainsi qu'à différentes époques, l'analyse de la trajectoire HGM pourrait considérer les deux scénarios, soit de démanteler ou non, afin d'anticiper la réponse future du système fluvial.

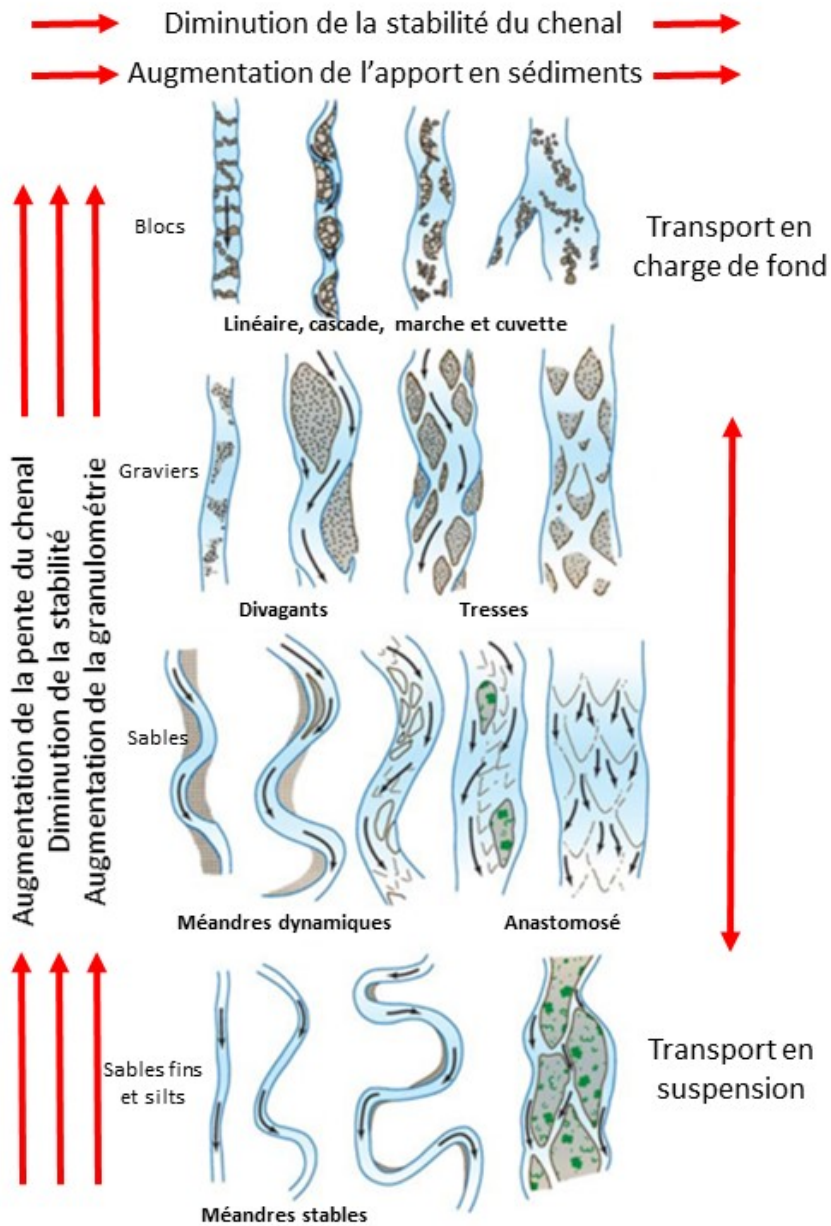


Figure 3. Classification des styles fluviaux selon Church (1992), adaptée de Church (2006)

L'analyse de la trajectoire permet d'évaluer la sensibilité du cours d'eau face aux perturbations, d'anticiper l'évolution future et de proposer un diagnostic hydrogéomorphologique. Le réajustement face aux perturbations peut être progressif ou s'effectuer suite à une série d'ajustements morphodynamiques. Dans le cas échéant, l'ampleur des ajustements peuvent toutefois s'amenuiser dans le temps, en réponse au retour vers son état antérieur d'équilibre

dynamique. Dans le cas d'un réajustement progressif, les ajustements peuvent s'avérer subtils et s'échelonner sur une plus longue période de temps.

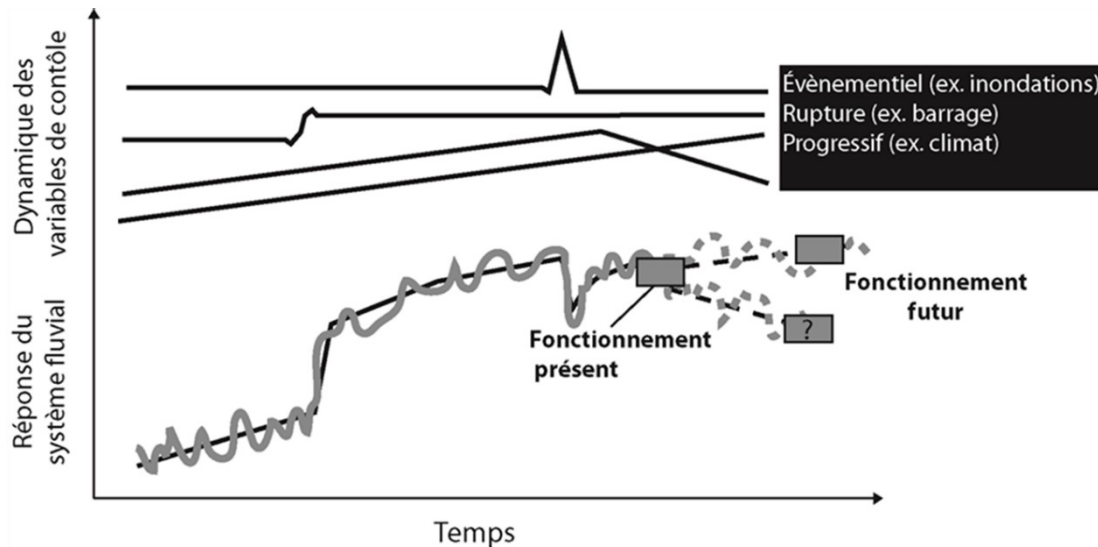


Figure 4. Schématisation de la trajectoire hydrogéomorphologique (adaptée de Dufour et Piégay, 2009)

b. Dynamique du bois en rivière

Le bois mort dans le système fluvial fait partie intégrante de la dynamique naturelle des cours d'eau. La dynamique du bois en rivière comporte quatre composantes principales : 1) les intrants de BM (W) par l'érosion des berges par exemple, 2) les accumulations de BM et les changements dans les volumes accumulés (ΔS) au sein d'un chenal ou d'une plaine alluviale, 3) la mobilité et les flux du bois dans un système fluvial (F) durant les périodes de crue et finalement, 4) les bois morts éliminés par décomposition et fragmentation (D) (Figure 5). L'état d'équilibre du système fluvial est étroitement associé à la dynamique du bois mort. Par conséquent, les ajustements face à la perturbation de l'une ou l'autre de ses dynamiques (c.-à-d. fluvial et BM) résultent en une multitude d'interactions entre celles-ci. Les ajustements issus de ces interactions ont pour but de favoriser un retour vers un état d'équilibre. Par exemple, l'érosion des berges engendrée par la migration latérale d'un segment situé à l'amont apporte une quantité de sédiments vers l'aval ainsi qu'un certain volume de bois dans le système fluvial. Cela peut provoquer la formation de bancs d'accumulation centraux dans les segments en aval. Ces bancs constituent des endroits

favorisant l'entreposage temporaire et l'accumulation du bois en rivière et leur croissance peut favoriser la redirection de l'écoulement vers les berges, recrutant davantage de bois dans le système fluvial. Lors de crues de plus grandes amplitudes, ces accumulations peuvent être remaniées, transportées vers les zones d'accumulation situées en aval, jusqu'à l'obstruction complète d'un chenal et à l'**avulsion** du chenal principal par exemple.

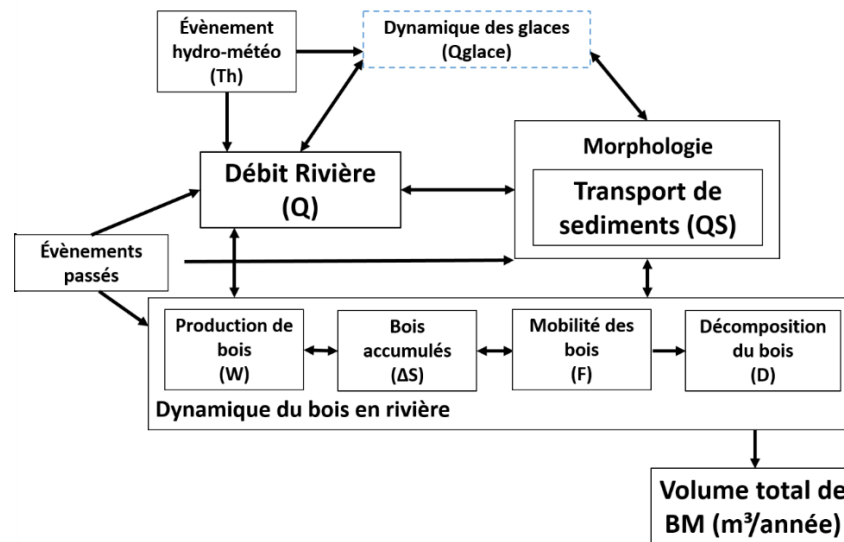


Figure 5. Composantes et interrelations de la dynamique du bois dans les rivières de régions froides par une approche de bilan ligneux (adaptée de Boivin *et al.*, 2017a)

La récurrence et l'intensité des processus morphodynamiques et leurs interactions avec le bois en rivière sont variables dans le temps et l'espace. Cela peut varier de la formation d'un seuil ou d'une fosse (Gurnell et Sweet, 1998) jusqu'au changement complet de style fluvial (Abbe et Montgomery, 2003). L'identification des styles fluviaux et leurs associations à des caractéristiques morphodynamiques dominantes le long du corridor fluvial permettent de comprendre et d'établir les liens entre la dynamique fluviale et celle du bois en rivière. Par exemple, l'apport de bois en rivière est différent dans un tronçon linéaire que dans une portion à méandre en raison des taux de migration latérale plus élevés dans les portions à méandres. De plus, tout comme chaque tronçon de cours d'eau possède une capacité différente à transporter et évacuer une quantité donnée de bois morts, les données morphologiques permettent d'identifier les zones d'accumulation préférentielles. La segmentation du corridor fluvial permet ainsi de délimiter les zones d'apport en bois (ou recrutement), de transfert et d'accumulation temporaire ainsi que les zones plus à risque d'accumulation majeure. La compréhension des multiples interactions et leur variabilité dans le temps à l'échelle d'un corridor fluvial ou d'un bassin versant permet une analyse

de la trajectoire géomorphologique plus précise qui reflète davantage la dynamique naturelle des cours d'eau et ces interactions avec la dynamique du bois en rivière.

Enfin, la notion d'équilibre est primordiale dans la gestion et l'analyse du bois mort en rivière en raison de son influence sur la trajectoire géomorphologique permettant d'anticiper l'évolution du tracé fluvial et l'intensité des ajustements. Enfin, malgré une perception généralement négative du bois mort et le nettoyage d'embâcle en rivière au Québec (Boivin *et al.*, 2019) et dans le monde (Chin *et al.*, 2008; Chin *et al.*, 2014), les modifications engendrées par cette dynamique à la morphologie des rivières ne possèdent pas que des impacts aux allures négatives (d'un point de vue anthropocentrique) sur l'environnement fluvial et ses écosystèmes. Les avantages écosystémiques de la présence de bois en rivière sont nombreux (p. ex. refuges thermiques, protection contre l'érosion, zone de repos, diversification des habitats, etc.) et plusieurs pays sont à réintroduire du bois dans leurs cours d'eau (p.ex. Maleki et Riggers, 1999; Ledar *et al.*, 2001; Cramer, 2012). Il est donc essentiel d'analyser l'ensemble des dynamiques avant le démantèlement d'embâcle afin d'assurer la conservation des avantages écosystémiques liés à la présence de bois en rivière.

c. La gestion du bois mort en rivière et les interactions avec le saumon de l'Atlantique

L'ampleur des impacts d'un embâcle de bois sur **l'état d'équilibre** d'un cours d'eau est principalement liée à la proportion du chenal obstrué, à la stabilité de ce dernier, au volume de bois emmagasiné ainsi qu'à la porosité de l'embâcle. Les embâcles les plus volumineux sont généralement les plus stables et, par conséquent, influenceront la dynamique fluviale sur une plus longue période. Cela explique la diversité d'impacts au niveau des enjeux de gestion, sur la diversité morphologique et celle des habitats présents dans les cours d'eau (Boivin *et al.*, 2019).

i. Enjeux de gestion

La présence de bois mort en rivière apporte son lot de soucis et de défis aux gestionnaires de cours d'eau, plus particulièrement lorsque ces derniers ont à établir un équilibre entre les risques (p.ex. érosion, aggradation et inondations), la gestion de la ressource (p.ex. pêche, activités récréatives, potentiel hydroélectrique) et les services écosystémiques livrés par la dynamique du bois en rivière. Pour ce faire, il importe d'intégrer une approche holistique des environnements qui inclue la dynamique du bois mort afin d'orienter la prise de décision vers des actions plus

harmonieuses et durables. Les enjeux de gestion liés à la présence de BM concernant l'hydrogéomorphologie et la sécurité civile peuvent être nombreux et diversifiés dépendamment de l'ampleur des processus et des réajustements du système fluvial. La qualité de l'eau, des habitats, la diversité de ces derniers et les interrogations face à la libre circulation de l'eau peuvent préoccuper les gestionnaires. Toutefois, malgré une perception principalement négative du bois en rivière (Boivin *et al.*, 2019), le BM présent dans les rivières améliore les fonctions écosystémiques en diversifiant les habitats **lotiques** et riverains par l'entremise des ajustements morphologiques engendrés par la présence de bois dans les cours d'eau. Les processus menant à la diversification des formes fluviales et les rôles écosystémiques joués par la dynamique du bois mort sont présentés dans le Guide d'analyse du bois en rivière (Boivin *et al.*, 2019). Par conséquent, les rôles écosystémiques et les habitats fauniques en lien avec le Saumon Atlantique (*Salmo salar*) sont uniquement abordés dans cette section.

ii. Impact sur la diversité morphologique du lit

Les impacts du bois en rivière sur les formes fluviales s'expliquent principalement par son influence sur les conditions hydrauliques locales. D'une part, le refoulement créé par l'obstruction de l'aire hydraulique par un embâcle forme des zones de faibles courants. Ces lieux peu dynamiques favorisent le dépôt des sédiments, l'aggradation du lit au travers des accumulations de bois et constituent d'importants lieux de stockage de sédiments. La présence de bois en rivière contribue également à former des bancs d'accumulation à l'aval de troncs ancrés dans le lit (photo). Ces formes d'accumulation influencent en retour les conditions hydrauliques locales et les processus morphodynamiques.

D'autre part, la formation d'embâcles de bois contribue à augmenter localement les vitesses d'écoulement dans le but de maintenir un débit équivalent. Cette accélération augmente la compétence et la capacité de transport de l'écoulement et, conséquemment, l'érosion du lit et des berges à proximité. La Figure 6 illustre trois cas de figures fréquemment observées qui ont été ressortis par Dodd *et al.* (2016) : (1) lorsqu'un tronc ancré concentre et redirige l'écoulement sous celui-ci, une fosse se crée sous l'embâcle ainsi qu'une zone de sédimentation graveleuse à l'aval (figure 6a); (2) lorsque l'accélération de l'écoulement créée par le seuil formé par l'embâcle provoque l'érosion du lit à l'aval et forme une fosse, tandis que la zone de refoulement à l'amont accumule des sédiments (figure 6b); et, enfin (3) lorsque le bois redirige l'écoulement vers la

berge opposée et que les sédiments tendent à s'accumuler en aval, où les vitesses sont plus faibles (figure 6c). Ces formes d'érosion sont, généralement, plus nombreuses et plus rapprochées dans les tronçons où la dynamique du BM est active. La distribution des fosses le long du corridor varie dans le temps et l'espace selon les caractéristiques géomorphologiques du cours d'eau, de la dynamique fluviale, du BM et selon solidité et la détérioration du bois composant les embâcles.

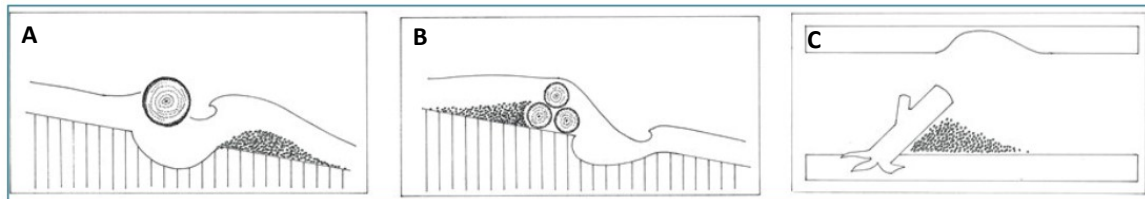


Figure 6. a) Surcreusement sous un tronc et accumulation à l'aval ; b) accumulation en amont d'un embâcle et surcreusement en aval ; et c) tronc redirigeant l'écoulement sur la berge opposée causant de l'érosion et accumulation en aval (Dodd *et al.*, 2016)

iii. Impact sur les habitats fauniques

La présence du bois en rivière exerce une influence sur la diversité des habitats lotiques qui s'explique également par son influence sur les conditions hydrauliques locales. En effet, le rehaussement du niveau de l'eau et la réduction des vitesses d'écoulement provoqués par le refoulement de l'eau dans les zones d'accumulation de bois font de ses lieux des refuges hydrologiques (durant les crues par exemple) et thermiques (durant les périodes d'étiage estivales par exemple). De plus, l'accumulation de sédiments couplée aux faibles vitesses d'écoulement aide à l'implantation de la végétation aquatique, voire **riparienne** une fois que l'aggradation du lit atteint le **niveau plein bord**. Le bois mort et la végétation aquatique présents dans le **lit mineur** constituent d'excellents abris contre la déprédation et le rayonnement solaire. Les dépôts de débordement sont reconnus pour être prisés par la végétation riparienne (Francis *et al.*, 2008). Celle-ci vient par la suite agir comme écran protecteur contre la chaleur du soleil et, par conséquent, contribue à tempérer l'eau lors des périodes chaudes d'été (Hamon *et al.*, 1986; Nagayama *et al.*, 2012).

La sédimentation et l'accumulation de matière organique couplées au faible dynamisme de la colonne d'eau favorisent la colonisation du benthos par des organismes benthiques et autres invertébrés, le développement de biofilms et la croissance d'algues. Enfin, les conditions biophysiques favorables à l'implantation de végétation, d'invertébrés et de microorganismes ont

nécessairement des répercussions sur les niveaux supérieurs de la chaîne trophique en augmentant leur disponibilité et l'abondance. De plus, les refuges hydrologiques qu'ils constituent favorisent également les échanges trophiques ainsi que l'utilisation de ses habitats à différents stades du cycle de vie du saumon (Opperman *et al.* 2006).

D'ailleurs, Clark *et al.* (2019) ont récemment montré que la présence d'embâcles (naturels et réintroduits) dans des tributaires de la rivière Columbia a contribué à augmenter l'abondance, la production de salmonidés et qu'il s'agit d'une méthode de conservation et de restauration efficace pour la création d'habitats favorables aux salmonidés. La présence d'embâcle de bois augmente la quantité et la densité de fosses au niveau des tronçons influencés par la dynamique du bois mort. Leur distribution successive pourrait ainsi jouer un rôle de refuge temporaire (thermique et hydrologique) dans la migration anadrome du Saumon de l'Atlantique au cours de l'été.

Les habitats créés peuvent ainsi servir de refuge contre les conditions hydrologiques et thermiques néfastes, contre les prédateurs, mais servent également de garde-manger pour la faune ichthyenne. Par conséquent, ils constituent des endroits fortement en demande lors des périodes d'étiage estivales, de la migration anadrome des saumons, lors de crues printanières ou lors de la saison d'hivernage pour la faune ichthyenne en général.

Enfin, la conciliation entre la conservation de la diversité morphologique, celle des habitats, toutes deux associées à la présence de bois en rivière, et des enjeux de sécurité civile demeure un sujet difficile à clarifier en raison du caractère unique de chaque rivière et des différentes problématiques rencontrées. La notion d'équilibre dans la gestion et l'analyse de la dynamique du BM demeure toutefois primordiale dans le processus décisionnel. Les résultats permettront de dresser un portrait exhaustif de la situation et de proposer des interventions durables, si nécessaire, qui considèrent à la fois les enjeux de gestion (p.ex. démantèlement complet, partiel ou création du chenal de déviation) et qui sont en harmonie avec le système fluvial et ses écosystèmes.

III CADRE MÉTHODOLOGIQUE

La compréhension de la dynamique du bois mort dans la rivière Port-Daniel et de son impact sur la migration anadrome du Saumon de l'Atlantique nécessite l'analyse ainsi qu'une description exhaustive d'une multitude de processus et des caractéristiques écogéomorphologiques de l'environnement fluvial du secteur à l'étude. La méthodologie préconisée implique ainsi la caractérisation et la segmentation fluviale du secteur à l'étude, l'évaluation de la trajectoire géomorphologique, l'analyse de la dynamique du BM et du bilan ligneux.

Afin de réaliser les objectifs de l'étude, des travaux sur le terrain et des analyses en laboratoire ont été nécessaires. En ce qui a trait au volet terrain, deux campagnes de terrain ont été réalisées à l'été 2019 sur 14,2 km du corridor fluvial à l'étude (Figure 7). Les deux campagnes se sont déroulées respectivement du 7 au 12 juillet et du 5 au 15 août afin de récolter les données et l'information nécessaire à la réalisation de l'étude.

a. Contexte géographique et présentation du corridor fluvial à l'étude

La rivière Port-Daniel est localisée dans l'est du Québec, mais plus spécifiquement, dans la MRC Le Rocher Percé située dans la portion est de la péninsule gaspésienne (Figure 7). Son bassin versant draine un territoire d'une superficie de 152 km² et se caractérise par une forme longitudinale. Le réseau hydrographique est de type en treillis, caractéristique des environnements montagnards, dans la portion amont et dendritique dans la portion aval. Le bassin versant est majoritairement forestier et faiblement exploité. La superficie des zones urbaines et agricoles est faible et est majoritairement concentrée dans la portion aval du bassin versant.

Les précipitations solides et liquides ainsi que les importantes variations de température caractérisent les conditions hydroclimatiques de la région. Le Tableau 1 illustre la variabilité intra-annuelle des conditions hydrométéorologiques enregistrées à la station météorologique de Port-Daniel (station no. 7056120) entre 1964 et 2019 (MELCC, 2019). La région est caractérisée par de grandes variations de température moyenne, pouvant aller de -14,9 °C en janvier jusqu'à 12,9 °C en juillet, ainsi qu'une faible température annuelle (i.e. 0,4 °C). Les mois de septembre et janvier s'avèrent ceux dont les précipitations moyennes cumulées liquides et solides sont généralement

les plus élevées avec des valeurs respectives de 132,0 mm et 85,4 cm. Les précipitations sont toutefois variables d'une année à l'autre comme démontré par les écarts-types élevés.

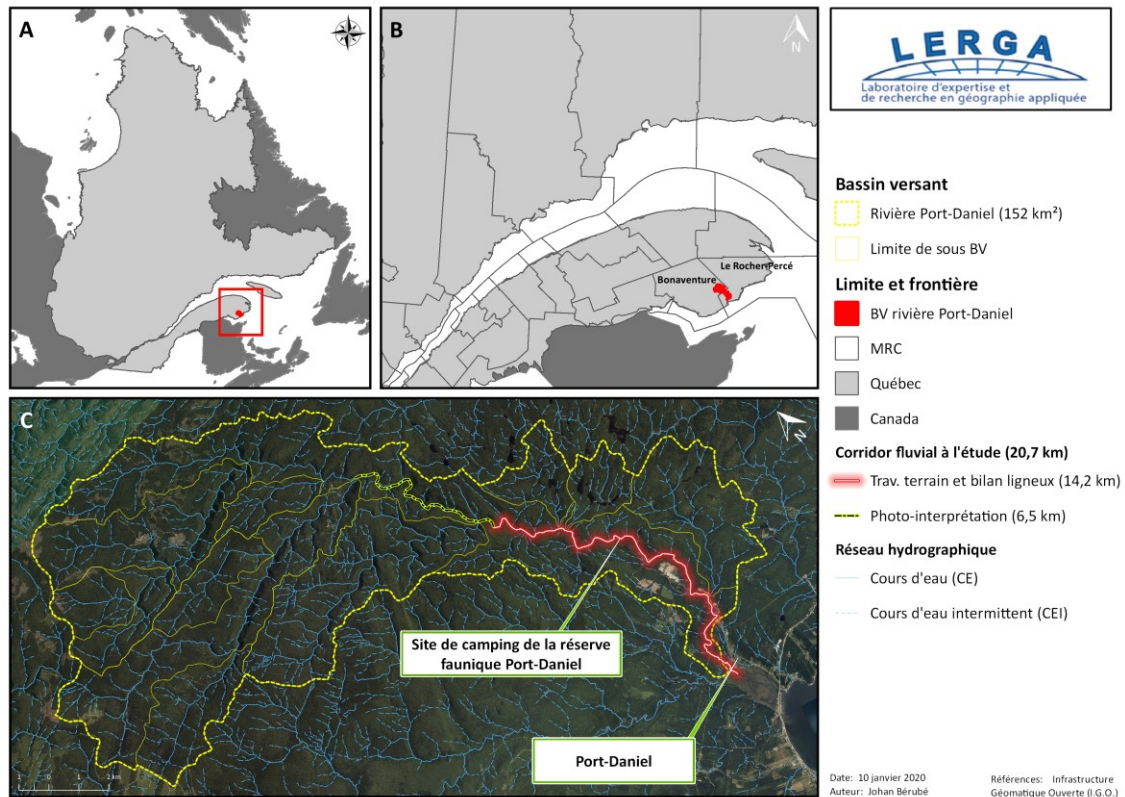


Figure 7. Localisation du corridor fluvial à l'étude à l'échelle du (A) Québec, de (B) l'Est-du-Québec et du (C) bassin versant

Les conditions hydrométéorologiques influencent le régime hydrologique. En effet, la fonte du couvert de neige et les précipitations liquides influencent la réponse hydrologique du bassin versant (c.-à-d. régime nivo-pluvial) et cela se traduit généralement par des crues printanières et automnales. La Figure 8 montre les hydrogrammes de crues des rivières Bonaventure et York, car aucune donnée de débit n'était disponible pour la rivière Port-Daniel. Ces rivières ont été choisies afin d'illustrer la variation temporelle des débits de rivières possédant des caractéristiques hydrographiques similaires (p.ex. structure et type de bassin) et sont localisées à proximité de la rivière Port-Daniel. Ces hydrogrammes ont permis d'apporter de l'information au niveau de l'occurrence et de l'intensité des différentes crues entre 1983 et 2019. En général, deux crues peuvent être observées chaque année, soit une au printemps ainsi qu'à l'automne. Cependant, quelques événements hydrologiques peuvent être observés pendant l'été et l'hiver. Tel est le cas de la crue hivernale de 2010 qui est survenue le 15 décembre dont l'intensité a marqué la

mémoire des Gaspésiens. D'ailleurs, les crues les plus intenses ont été identifiées sur la figure afin de pouvoir comparer et intégrer ces événements hydrologiques dans les analyses.

Tableau 1. Présentation de la variabilité intra-annuelle des précipitations moyennes liquides et solides à la station météorologique de Port-Daniel (station no. 7056120) entre 1964 à 2019

Mois	Précipitation				Température (°C)	
	Liquide		Solide		Moyenne	Écart-type
	Somme cumulée moyenne (mm)	Écart-type (mm)	Somme cumulée moyenne (cm)	Écart-type (mm)		
Janvier	21,1	25,4	85,4	41,9	-14,9	2,6
Février	17,4	27,2	77,5	42,1	-13,7	3,3
Mars	33,1	29,8	70,9	36,4	-8,7	2,6
Avril	63,5	45,3	32,2	21,5	-2,3	1,5
Mai	106,1	55,5	2,3	5,1	3,3	1,2
Juin	97,4	41,4	0,0	0,0	8,8	1,3
Juillet	110,3	44,9	0,0	0,0	12,9	1,4
Août	108,2	44,8	0,1	0,5	12,4	1,3
Septembre	101,8	43,4	0,0	0,2	7,9	1,4
Octobre	132,0	65,7	3,6	7,9	2,6	1,5
Novembre	94,8	43,5	27,3	24,6	-3,0	1,8
Décembre	49,3	42,6	83,3	37,4	-10,2	3,0
Total annuel moyen	935,0		382,5		-0,4	

Le chenal principal de la rivière Port-Daniel mesure environ 32 km de long et s'écoule dans des dépôts glaciaires, fluvioglaciaires, dans sa portion amont (Annexe 2, photo 1), et dans des dépôts fluviatiles typiques des environnements estuariens dans la portion deltaïque en aval (Annexe 2, photo 2). La rivière se jette dans un barachois au centre de la municipalité de Port-Daniel.

Cette étude a été conduite sur une portion du corridor fluvial localisé sur le territoire de la SEPAQ comprise entre l'embouchure jusqu'à 14 km vers l'amont (Figure 9). Le corridor fluvial est généralement **semi-alluvial**, mais comporte des segments rocheux et alluviaux hérités du passage répété par les glaciers et de la dynamique fluviale.

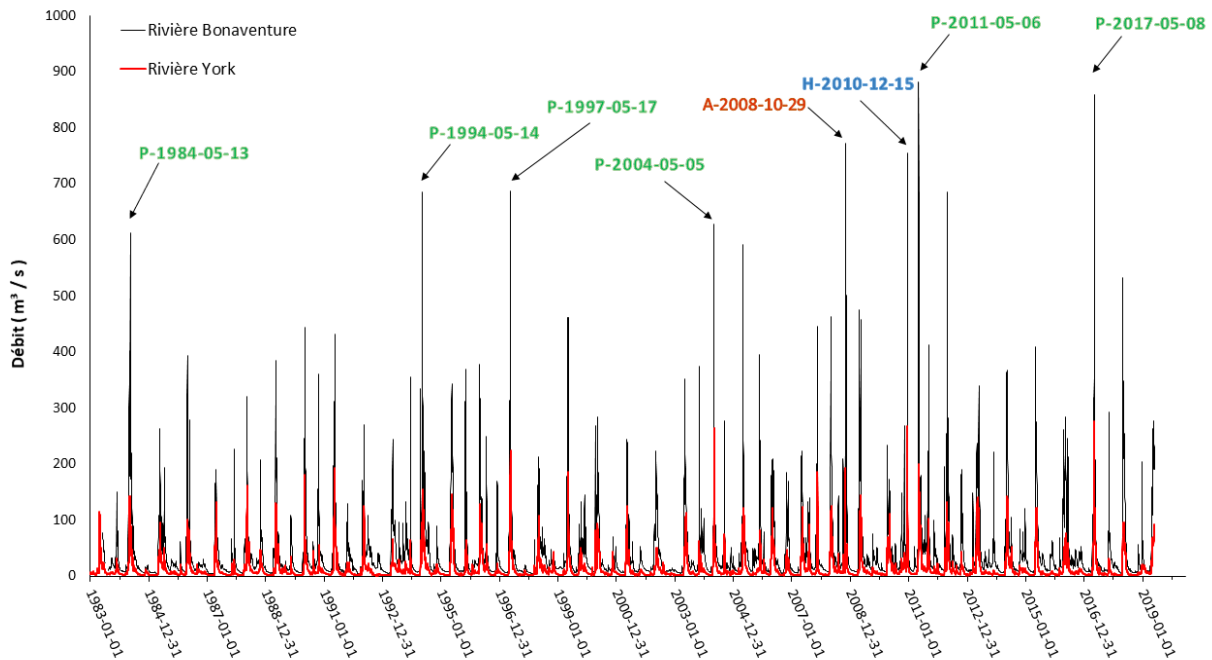


Figure 8. Présentation de série temporelle des données de débits des rivières Bonaventure et York pour la période 1983 à 2019

b. Caractérisation et segmentation fluviale

La segmentation du corridor fluvial a consisté à diviser ce dernier en unités morphodynamiques, c'est-à-dire des tronçons possédant des caractéristiques géomorphologiques, hydrauliques et biologiques similaires, selon une méthode adaptée de Demers et Buffin-Bélangier (2011). La caractérisation du lit mineur, des berges et de la **ripisylve** (c.-à-d. végétation riveraine) présents dans les différents segments s'est réalisée par l'analyse d'orthophotographies aériennes, de l'imagerie satellitaire et celle réalisée par drone.

Les documents utilisés pour le volet d'interprétation proviennent de différentes sources d'information. Tout d'abord, les orthophotographies de 2001, 2004 2016 et les photographies aériennes de 1964, 1975, 1986 ont été fournis par la SÉPAQ et le service de cartotheque de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR). Ensuite, trois années d'imagerie satellitaire ont été acquises par l'entremise de Land Info, un fournisseur d'images satellites. Ces dernières ont été sélectionnées en fonction de la résolution, la date d'acquisition du satellite, la couverture nuageuse ainsi que l'angle du satellite par rapport au zénith. Par conséquent, les années 2010, 2013 et 2018 ont été acquises en raison de la qualité de l'image, c'est-à-dire avec une haute résolution, une faible couverture nuageuse ainsi qu'un angle du satellite faible, en plus de

l'absence de glace et de neige dans le lit mineur et les berges. Ces images ont été captées par les satellites Worldview 01, 02 et 03 (WV01, V02 WV03). L'image de 2018 déroge exceptionnellement d'une de ses exigences par la présence de glace et de neige à certains endroits au niveau des berges et du lit mineur. Le choix a été fait en raison du manque de disponibilité d'images récentes en période estivale. Par conséquent, cette imagerie spatiale n'a pas été employée dans plusieurs analyses de la trajectoire géomorphologique. Enfin, les images de 2019 proviennent à la fois de l'imagerie par drone et de l'imagerie Landsat prélevée sur Google Earth. La mosaïque obtenue par les images de drone a été obtenue par la réalisation de cinq vols dans la portion deltaïque, soit dans le secteur du delta en aval de la rivière Port-Daniel, et d'un vol sur un site en amont où une **avulsion** par recouplement de méandre est survenue.

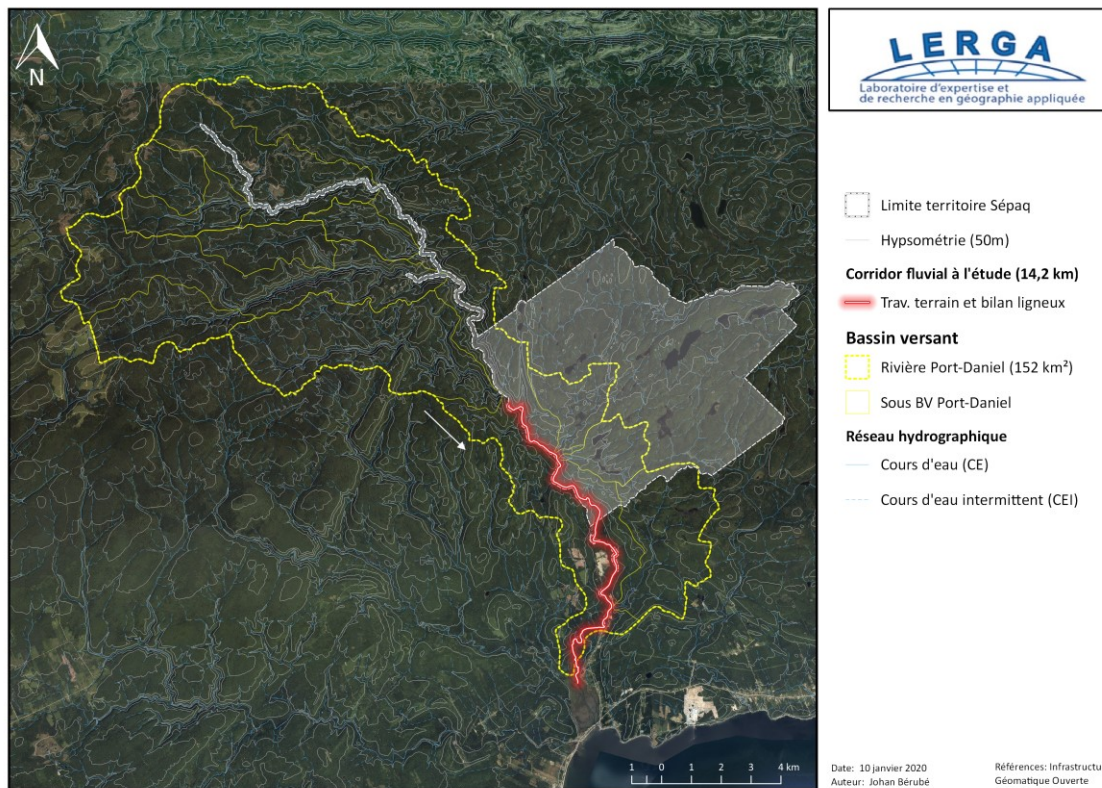


Figure 9. Présentation du contexte géographique du corridor fluvial à l'étude

La caractérisation des berges et du lit de la rivière a été faite sur un tronçon total de 20,7 km (figure 7). Les données obtenues par interprétation concernent le type de berge (p.ex. meuble, rocheuse, anthropique), l'état de la berge (p.ex. érosion, stable, accumulation), la ripisylve (p.ex. type de végétation, densité, hauteur, etc.) ainsi que l'évaluation de la granulométrie présente dans le chenal. La validation terrain de ces données a été réalisée sur un tronçon de 14,2 km lors

de la campagne à l'été 2019. Cette dernière a également permis de mesurer les vitesses d'écoulement, la granulométrie, de réaliser des levés topographiques du lit, des berges ainsi que des inventaires forestiers au niveau de la végétation riveraine (Figure 10). Les levés topographiques ont été effectués à l'aide d'un DGPS base-radio (Leica GS14 $\pm 8-15$ mm de précision) dans la portion du corridor fluvial à l'étude. Cela a permis d'obtenir le profil en long de chenal principal, de tracer plusieurs sections transversales afin d'analyser l'aire transversale du lit mineur et d'établir la distance longitudinale en point kilométrique (PK) à partir de l'exutoire de la rivière (PK 0,0).

Les valeurs d'altitudes du lit ont été positionnées le long d'un profil. Cela a permis d'extraire les valeurs de pentes du lit de la rivière. Les pentes moyennes ont été calculées pour l'ensemble du profil en long. Par la suite, les droites régressives ont été tracées à partir des altitudes du lit et ce pour chacun des segments. Ces dernières ont été priorisées dans la caractérisation et segmentation du corridor fluvial en raison de leur meilleure représentativité de l'ensemble du segment. En effet, les valeurs de pentes moyennes ont tendance à surévaluer les valeurs de pente en raison de leur influence par les variables plus extrêmes (p.ex. bris de pente au niveau des cascades ou des fosses). Les pentes moyennes ont toutefois été utilisées dans le calcul de la puissance spécifique (voir section ici-bas).

Les vitesses d'écoulement ont été mesurées sur trois différents sites dans la portion aval afin d'obtenir les valeurs de débit relatif dans le chenal principal (amont) et les deux chenaux secondaires (aval). Pour ce faire, un courantomètre à hélice Flow Probe ($\pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$) a permis d'obtenir les vitesses d'écoulement. Par la suite, le débit a été calculé à partir de l'équation suivante :

$$Q = A \times V \quad (1)$$

où A représente l'aire mouillée (m^2) de la section transversale et V la vitesse d'écoulement moyenne (m/s). L'aire mouillée a été calculée à l'aide des levés topographiques transversaux réalisés aux différents sites et du niveau d'eau mesurée à ce moment de l'année.

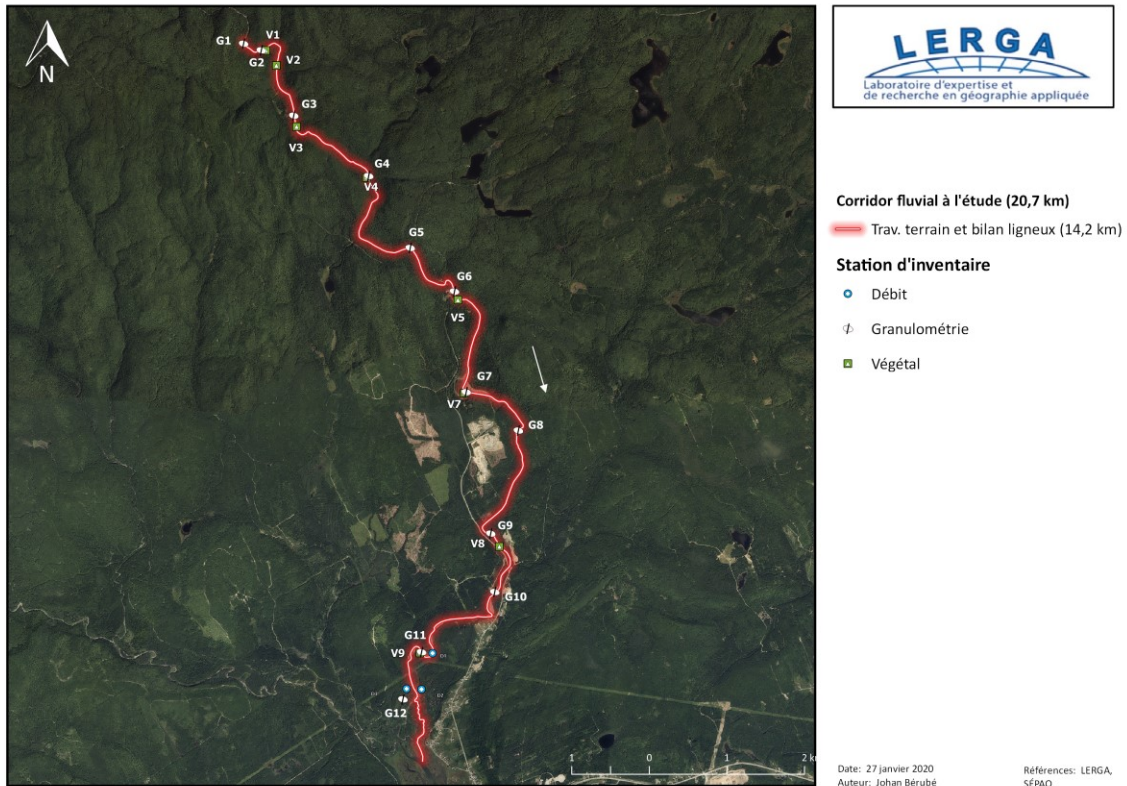


Figure 10. Localisation des différentes stations d'inventaire le long du corridor fluvial à l'étude

La méthode de granulométrie préconisée est adaptée de Wolman (1954) et a été effectuée sur 12 stations d'échantillonnage. Pour chaque station d'échantillonnage, l'axe B a été mesuré sur 100 cailloux prélevés dans le lit mineur (chenal d'écoulement et/ou banc d'accumulation). Neuf stations d'inventaire forestier ont été réalisées dans le corridor fluvial à l'étude (Figure 10). Les inventaires ont consisté à identifier, dénombrer les espèces dont le DHP est supérieur ou égal à 10 cm et d'en mesurer leur DHP (diamètre à hauteur de poitrine) des arbres. La granulométrie des berges a également été décrite dans ses stations d'inventaire en identifiant les trois classes granulométriques dominantes du tronçon (p.ex. Bloc [Bl], galet [Ga], gravier [Gr] et sable [Sa], etc.).

Les caractéristiques de l'environnement fluvial ressorties ont permis de segmenter le tronçon à l'étude en unités morphodynamiques. La compréhension de la dynamique fluviale propre à chacun de ces segments contribuera à l'analyse de la trajectoire géomorphologique.

c. Analyse de la trajectoire géomorphologique

La trajectoire géomorphologique a été analysée à partir de deux approches différentes, soit l'approche historique et l'approche hydrogéomorphologique. Ces deux approches sont à la fois distinctes et complémentaires.

D'une part, l'approche historique consiste à caractériser et quantifier l'évolution des différents segments du corridor fluvial à l'étude à partir d'images aériennes historiques (1964 à aujourd'hui). Cela permet principalement d'identifier à chacune des époques les perturbations, les indices témoignant du dynamisme fluvial et d'évaluer l'état d'équilibre pour chacun des segments du corridor à l'étude. Il a été possible par la suite de déterminer quels ajustements sont en cours et de les projeter dans le futur. Les mesures géométriques obtenues pour les différentes séquences temporelles ont permis de projeter l'évolution du cours d'eau dans le futur selon état d'équilibre et sa sensibilité face aux perturbations.

Afin de déterminer l'évolution historique du corridor fluvial à l'étude, plusieurs fenêtres temporelles ont été élaborées à partir de séquences historiques provenant de photographies, d'orthophotographies aériennes et d'imageries satellitaires. En effet, les photographies aériennes des années 1964, 1975 et 1986, les orthophotographies de 2001, 2004 ainsi que les images satellites de 2010, 2013, 2018 et 2019 ont été choisies. Par la suite, les images utilisées ont été géoréférencées, ou leur position a été corrigée lorsque nécessaire, à l'aide d'un logiciel SIG (c.-à-d. ArcMap et QGIS). L'analyse des différentes séquences temporelles a permis de décrire l'évolution des différents segments de rivière dans le temps, de déterminer le style fluvial et les formes dominantes et de ressortir les événements marquants tels que les avulsions, la migration latérale, la formation d'embâcles ou le transport d'importante quantité de BM. Pour chacune des images, les limites du lit mineur et des bancs d'accumulation ont été tracées. Cela a permis de quantifier la migration latérale du lit mineur. Les taux de recul ont été mesurés à partir de neuf sections transversales (T1 à T9) distribuées longitudinalement dans chacun des tronçons identifiés comme étant dynamiques (Figure 11). Le calcul des taux de recul et des superficies érodées a permis par la suite de quantifier l'évolution du lit mineur et de calculer l'apport en volume de BM pour chacune des séquences temporelles. Les volumes de bois ont ensuite été utilisés pour l'analyse de la dynamique du BM.

D'autre part, l'approche hydrogéomorphologique consiste à mesurer et analyser plusieurs paramètres de la dynamique fluviale afin d'en comprendre ses tendances évolutives. Les caractéristiques analysées sur le terrain comprennent la granulométrie, la pente, la vitesse d'écoulement, le débit relatif et la puissance spécifique. Cette dernière a été calculée à chaque 500 m tout au long du profil longitudinal, et ce sur une distance totalisant environ 14,2 km. La puissance spécifique a été obtenue à l'aide de l'équation suivante :

$$\omega = \frac{\rho g Q_p S}{w} \quad (2)$$

où ρ est la densité de l'eau, g est l'accélération gravitationnelle, Q_p est le débit ponctuel mesuré pendant la campagne de terrain et S est la pente moyenne du lit au niveau du tronçon. Le produit de ces variables est ensuite divisé par la largeur (w) du lit mineur (c.à-d. largeur plein bord) afin d'obtenir la puissance spécifique (ω). Cette caractéristique hydraulique exprime la capacité de l'écoulement à provoquer le transport des sédiments, modifier les formes du lit à l'échelle locale et engendrer le transport de bois en rivière. Plusieurs observations et relevés terrain ont

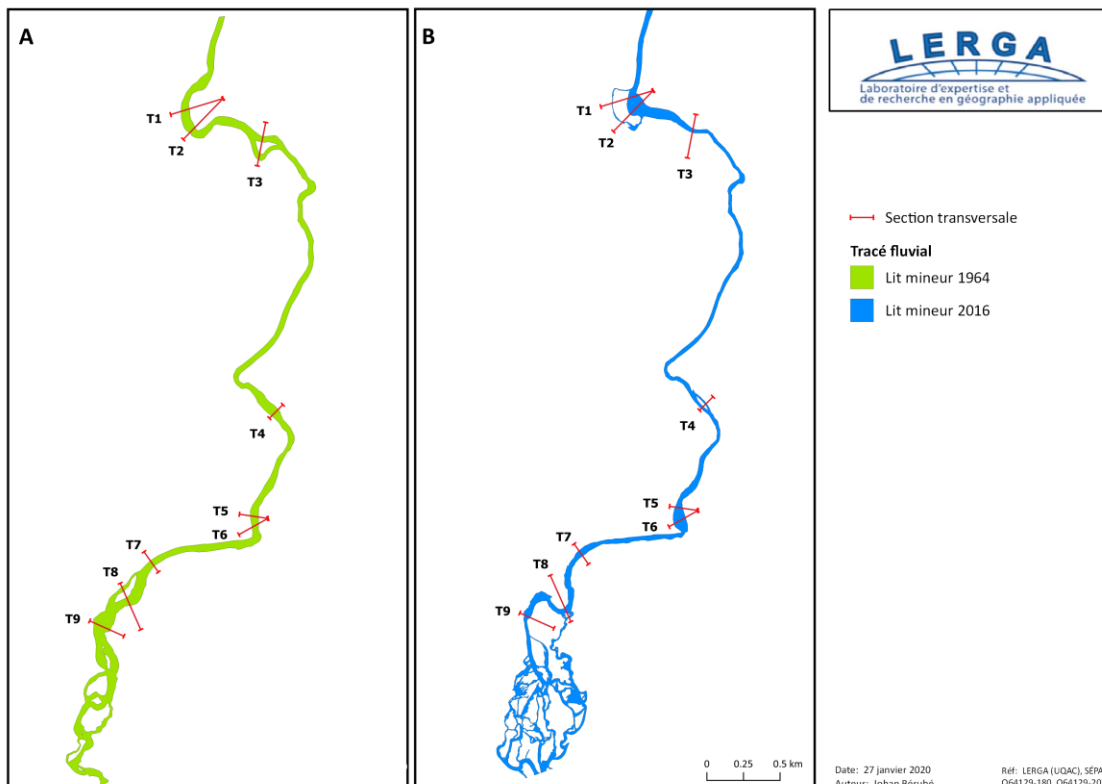


Figure 11. Localisation des sections transversales utilisées pour quantifier la migration latérale et présentation du tracé fluvial du lit mineur de (A) 1964 et (B) de 2016

permis la compréhension de la dynamique hydrosédimentaire responsable de l'évolution de l'environnement fluvial. Cela inclut les données associées à la caractérisation des berges et du lit mineur (p.ex. type et état des berges, granulométrie, etc.). Ces particularités spécifiques à chaque tronçon exercent une influence sur la trajectoire géomorphologique au travers de facteurs tels que la cohésion des berges, la rugosité de l'écoulement et la pente.

Enfin, l'approche hydrogéomorphologique, lorsqu'utilisée en conjonction avec l'analyse historique, permet de comprendre et d'anticiper l'évolution du système fluvial à court-moyen terme en fonction des caractéristiques de la dynamique fluviale et des observations faites sur le terrain.

d. **Évaluation du bilan ligneux et analyse de la dynamique du BM**

L'évaluation du bilan ligneux consiste à dresser un portrait des embâcles de BM en transition et en accumulation dans le système fluvial de la section à l'étude par la quantification des intrants et du volume actuel. Les embâcles de bois consistent à des accumulations d'au moins trois pièces de 1 mètre de long et de 10 cm de diamètre minimum (Wohl *et al.*, 2010). En premier lieu, la quantification du volume de BM a consisté à positionner dans l'espace les accumulations présentes dans le lit mineur et sur les berges à l'aide d'un GPS (Garmin 64s ± 3 m de précision), les caractériser et mesurer leurs dimensions à l'aide d'un ruban de 30m ($\pm 0,5$ cm de précision). Les caractéristiques de l'embâcle et de l'environnement fluvial ont été notées (voir feuille de caractérisation des embâcles à l'annexe 4) à des fins d'analyses. Le volume de l'embâcle a été obtenu en calculant le produit la hauteur, de la largeur et de la longueur ainsi qu'en y appliquant un coefficient de densité tel que proposé par Thevenet *et al.*, (1998) :

$$V_{BM} = L l h p \quad (3)$$

où L est la longueur, l la largeur, h la hauteur de l'embâcle et p est le coefficient de porosité (0,105). Le volume cumulé de BM présent dans le système fluvial représente la dynamique du BM en transition et en accumulation dans le corridor fluvial pour une année donnée. La production de BM varie dans le temps et l'espace. Par conséquent, les apports de BM ont été quantifiés tout au long du corridor à l'étude et ce, pour chacune des séquences temporelles entre 1964 et 2019. Pour ce faire, un inventaire végétal a tout d'abord été effectué sur les arbres ayant un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) ≥ 10 cm lorsque des signes d'érosion active ont été observés au niveau

des berges. Au total, neuf stations d'inventaire ont été réalisées tout au long du corridor fluvial (Figure 10). Ces inventaires ont permis d'obtenir une valeur de densité, du DHP et de la hauteur des arbres présents dans une parcelle de 100 m² (10m par 10m). Ces données ont ensuite permis de calculer le volume de bois présent dans la ripisylve pouvant potentiellement être apporté dans le système fluvial (V_B) :

$$V_B = \frac{\left(\frac{DHP}{100}\right)^2 \times h}{4\pi} \quad (4)$$

où DHP est le diamètre à hauteur de poitrine en cm et h la hauteur de l'arbre en m. Le volume de bois cumulé dans chacune des parcelles a été divisé par la superficie de la parcelle (*i.e.* 100 m²) afin d'obtenir la densité volumétrique (m³/m²) de bois présent dans la bande riveraine (V_S) :

$$V_S = \frac{\sum V_B}{A_p} \quad (5)$$

où $\sum V_B$ est la somme cumulée du volume des arbres présents dans la parcelle et A_p est l'aire de la parcelle d'échantillonnage. Les superficies érodées de chacune des fenêtres temporelles ont ensuite été mesurées en extrayant le lit mineur des deux années de la séquence (p.ex. 1964 et 1975) qui ne se superpose pas à l'aide de la fonction *différence symétrique* du logiciel QGIS. Les valeurs des superficies obtenues ont enfin été multipliées par la densité volumétrique (V_S) afin d'obtenir l'apport de bois total dans la rivière ainsi que les taux annuels de BM apporté dans le système fluvial.

Enfin, ces données ont permis de quantifier les volumes de bois à risque de se retrouver en transition à court-moyen terme dans le lit mineur, d'estimer les apports de bois dans le passé et les taux annuels d'apport. Les apports de BM dans le système fluvial contribuent à sa dynamique et influence la trajectoire géomorphologique du cours d'eau.

IV RÉSULTATS

a. Caractérisation et segmentation fluviale

La caractérisation HGM et les analyses de variables morphodynamiques ont permis de segmenter du corridor fluvial en quatre unités morphodynamiques. L'ensemble des unités possède un chenal sinueux, parfois divagant, dont leur amplitude s'approche de celle du méandre lorsqu'on approche de l'exutoire de la rivière Port-Daniel (Figure 12). Cette rivière graveleuse s'écoule généralement dans des dépôts glaciaires et fluviatiles anciens dans sa portion aval, typiques des environnements estuariens. Ces types de dépôt comportent une granulométrie fortement hétérométrique et généralement grossière au niveau des berges (Ga-Gr-BI) en amont et plus fine à l'aval (Ga-Gr-Sa). D'ailleurs, les berges sont les sources principales d'apport en sédiments au niveau du lit mineur et leur composition exerce une influence sur la granulométrie au niveau des bancs d'accumulation (Figure 13). Par conséquent, la taille granulométrique des bancs est fortement variable. Un gradient d'affinement de la granulométrie médiane (D50) des bancs d'accumulation est d'ailleurs constaté de l'amont vers l'aval en raison des conditions hydrauliques favorables à la sédimentation qui augmente en se rapprochant de l'exutoire.

Le Tableau 2 présente les caractéristiques morphodynamiques des trois segments présents dans à l'intérieur du corridor fluvial à l'étude (segments A à C) et du segment estuarien situé à l'embouchure la rivière (segment D). La portion amont du corridor fluvial (segment A) est constituée d'un segment sinueux à affleurements rocheux (Figure 14). La rivière s'y retrouve encaissée dans le relief montagnard composé de roc et de dépôts meubles. Les berges meubles et rocheuses totalisent, respectivement, 4,2 km (68%) et 2,0 km (32%) de berges (gauche et droite). Les sinuosités rencontrées sont généralement induites par un contrôle lithologique exercé par les affleurements rocheux présents dans le lit mineur. Les berges sont généralement stables (3,3 km ou 53% du total), comparativement aux 2,4 km de berges en érosion (38%). Le tracé fluvial est sinueux, mais possède également des tronçons plutôt linéaires caractérisés par des successions de seuils-mouilles et de rapides aux fortes pentes (Figure 15). Les fortes pentes rencontrées (6,8%) expliquent la moyenne élevée de la puissance spécifique ($344,2 \text{ W m}^{-2}$) et la granulométrie médiane (D50) élevée au niveau des bancs d'accumulation (75 mm). Le volume total de BM mesurés sur le lit mineur du segment s'élève à $148,5 \text{ m}^3$.

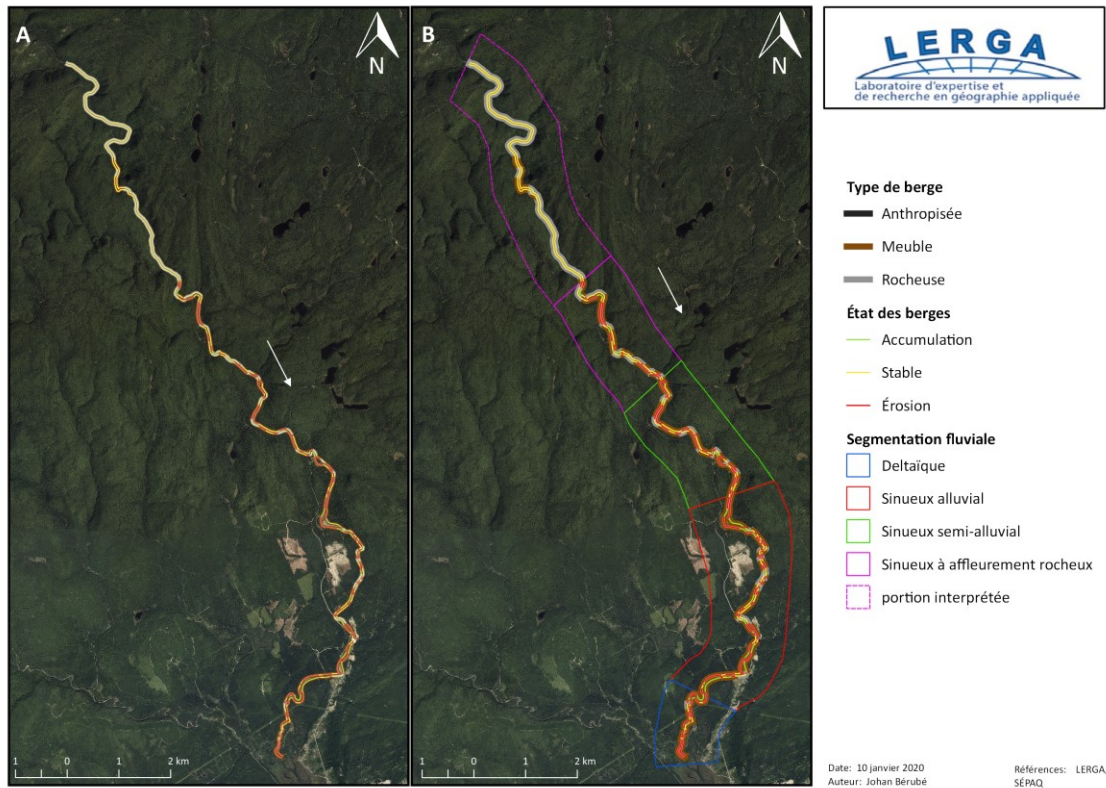


Figure 12. Présentation des caractéristiques des berges (A) et segmentation du corridor fluvial (B)

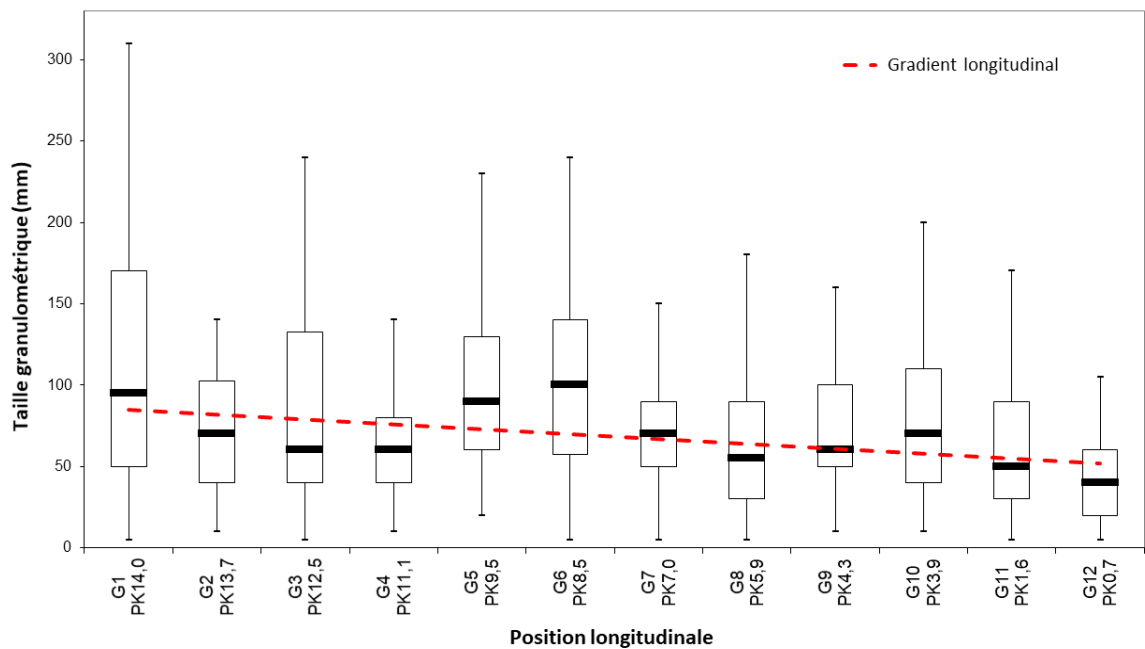


Figure 13. Distribution longitudinale des résultats de l'analyse granulométrique. La courbe de régression linéaire est représentée en pointillé rouge

Tableau 2. Caractéristiques morphodynamiques de chacun des segments présents dans le corridor fluvial à l'étude.

Segment	Style fluvial	Pente du lit (%)		Puissance spécif. (ω) (W / m^2)		Granulométrie		Berges						Volume de bois (m^3)	
		Moyenne	Droite régressive	Moyenne	Écart-type	Médiane D50 (mm)	Berges	Type (km)			État (km)				
								Rocheuse	Meuble	Anthropique	Érosion	Stable	Accumulation		
A	Sinueux à affleurement rocheux	Sinueux	5,2	6,8	344,2	542,6	75	Ga-Gr-BI	2,0	4,2	0,00	2,4	3,3	0,6	148,5
B	Sinueux semi-alluvial	Sinueux / divagant	3,8	5,2	64,6	58,8	83	Ga-BI-Sa	1,2	6,3	0,04	4,1	3,1	0,3	829,5
C	Sinueux alluvial	Sinueux	9,1	5,6	99,8	131,1	61	Ga-Gr-BI	1,4	9,7	0,08	5,7	3,0	2,5	718,5
D	Deltaïque	Sinueux	7,2	3,5	63,4	20,7	40	Ga-Gr-Sa	0,0	3,4	0,00	2,3	0,5	0,6	5507,5

Le segment suivant (B) se caractérise par une vallée semi-alluviale entrecoupée de quelques affleurements rocheux ainsi qu'un tracé fluvial sinueux, parfois divagant (Figure 16). Les berges meubles dominent ce segment (6,3 km ou 84% de la distance totale), comparativement aux berges rocheuses (1,2 km) et anthropiques (0,04 km) qui représentent respectivement 16% et 1%. Cela explique en partie la proportion élevée de berges en érosion (55%). Toutefois, plusieurs tronçons de berges à la fois meubles et stables ont été observés à l'intérieur de ce segment. Ces dernières totalisent 2,0 km (26% des berges stables) sur total de 3,1 km (84% des berges totales) de berges stables. Plusieurs petits rapides peuvent être observés ainsi que la présence de fosses aux profondeurs considérables (>3m). La pente est légèrement plus faible qu'en amont (5,2%) tandis que la granulométrie médiane est plus élevée (83 mm). Un changement majeur dans la puissance spécifique s'observe, avec une valeur moyenne de $64,6 W m^{-2}$, et dans le volume de bois accumulé, qui s'établit à $828,5 m^3$.

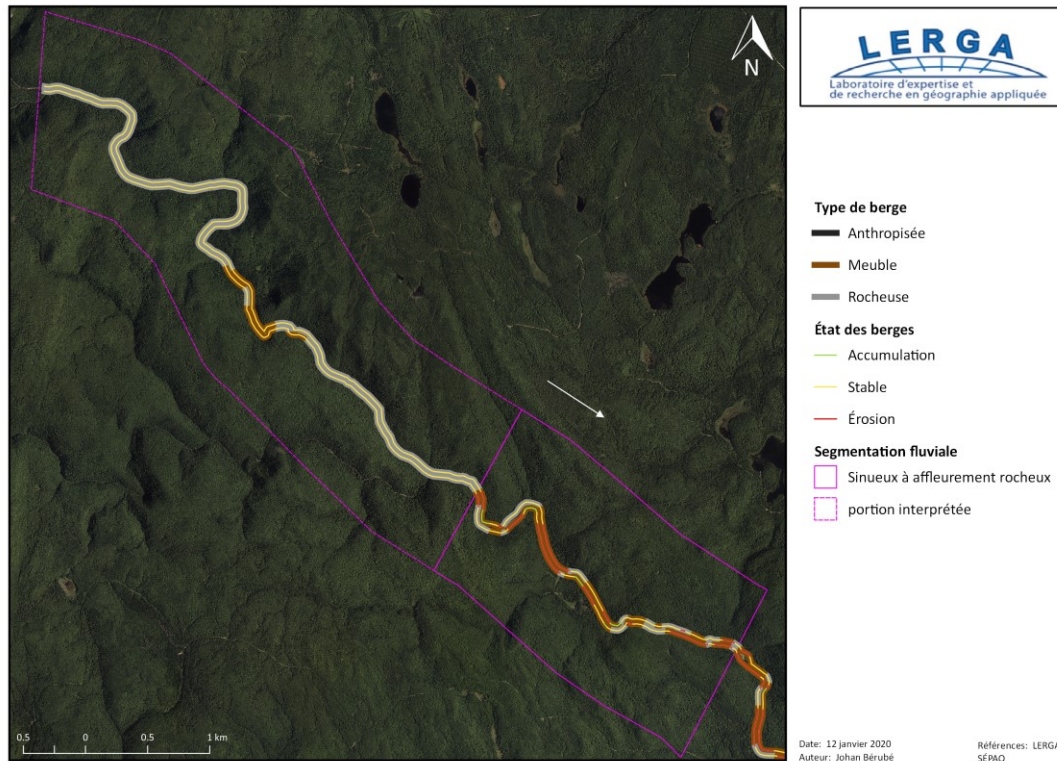


Figure 14. Présentation du type et de l'état des berges dans le segment sinueux à affleurement rocheux (segment A) en amont du corridor à l'étude

Le segment sinueux alluvial (segment C) se caractérise principalement par l'élargissement de la vallée et de la plaine alluviale ainsi que par la présence d'un tracé sinueux entrecoupé par quelques méandres actifs (Figure 17). Les berges sont majoritairement meubles (9,7 km), ainsi qu'en érosion (5,7 km). La présence de méandres actifs contribue à l'érosion des berges dans le segment, à la production de sédiment qui contribue à la formation de bancs de convexité au niveau de berges en accumulation (2,5 km). Ces bancs représentent des secteurs d'accumulation de sédiments et également sont propices à la déposition de bois mort. Si la granulométrie observée au niveau des berges (Ga-Gr-BI) de ce segment est similaire à celle observée à l'amont, elle s'avère plus fine que la granulométrie médiane mesurée sur les bancs d'accumulation (61 mm). De faibles variations sont observés au niveau des pentes, avec une pente moyenne de 5,6%, une puissance spécifique de $99,8 \text{ W m}^{-2}$, et des volumes en bois accumulé de $718,5 \text{ m}^3$.

Le dernier segment du corridor fluvial à l'étude (segment D) se décrit par un style fluvial multichenal de type sinueux, de faibles pentes (3,5%) et se démarque particulièrement par sa quantité élevée de bois mort accumulé ($5507,5 \text{ m}^3$). Ce segment forme la portion estuarienne de la rivière Port-Daniel, où un delta s'est formé suite à la transgression marine et au retrait des

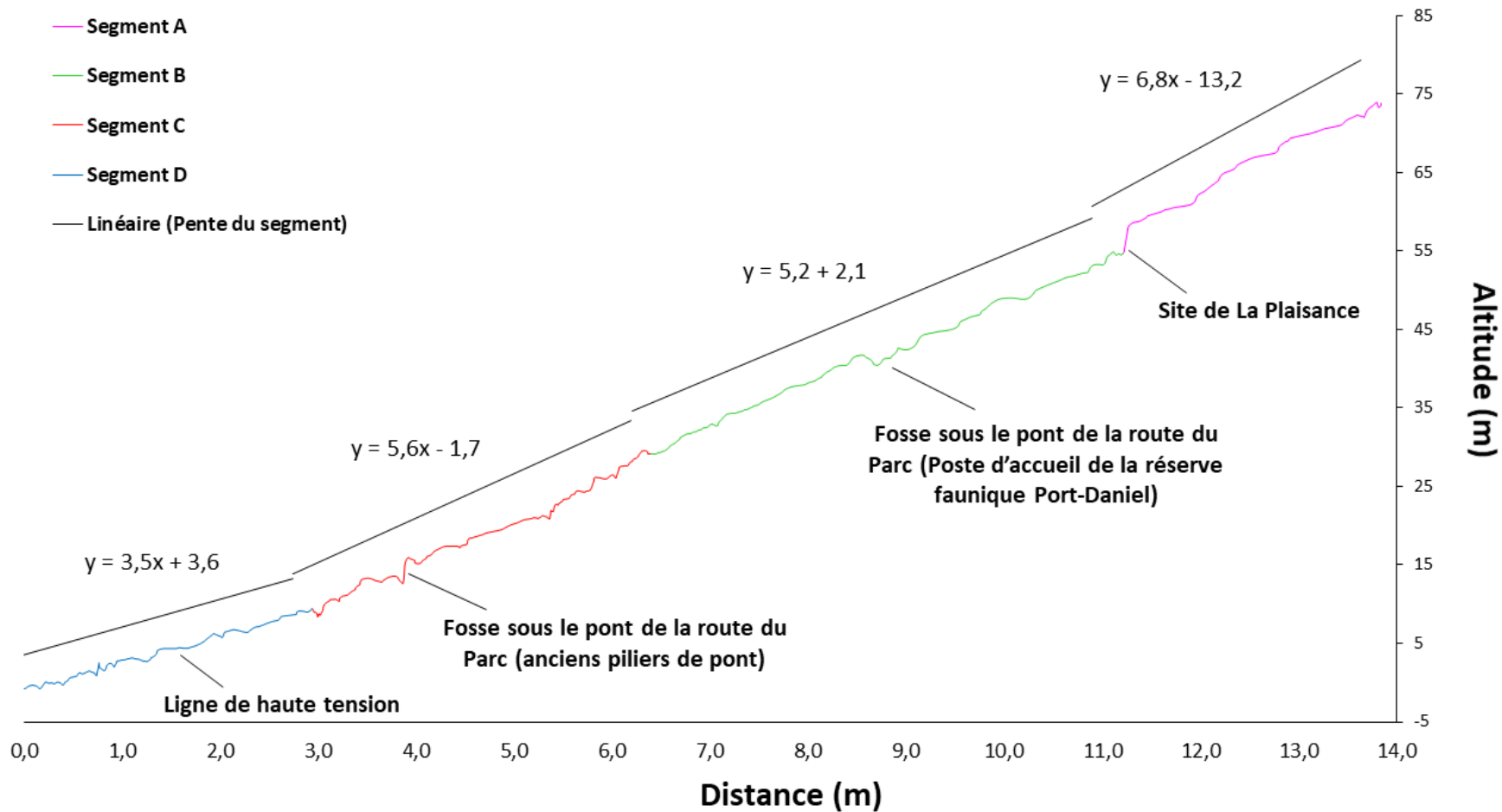


Figure 15. Localisation des quatre segments sur le profil en long et présentation des pentes issues de droites régressives de chacun des segments

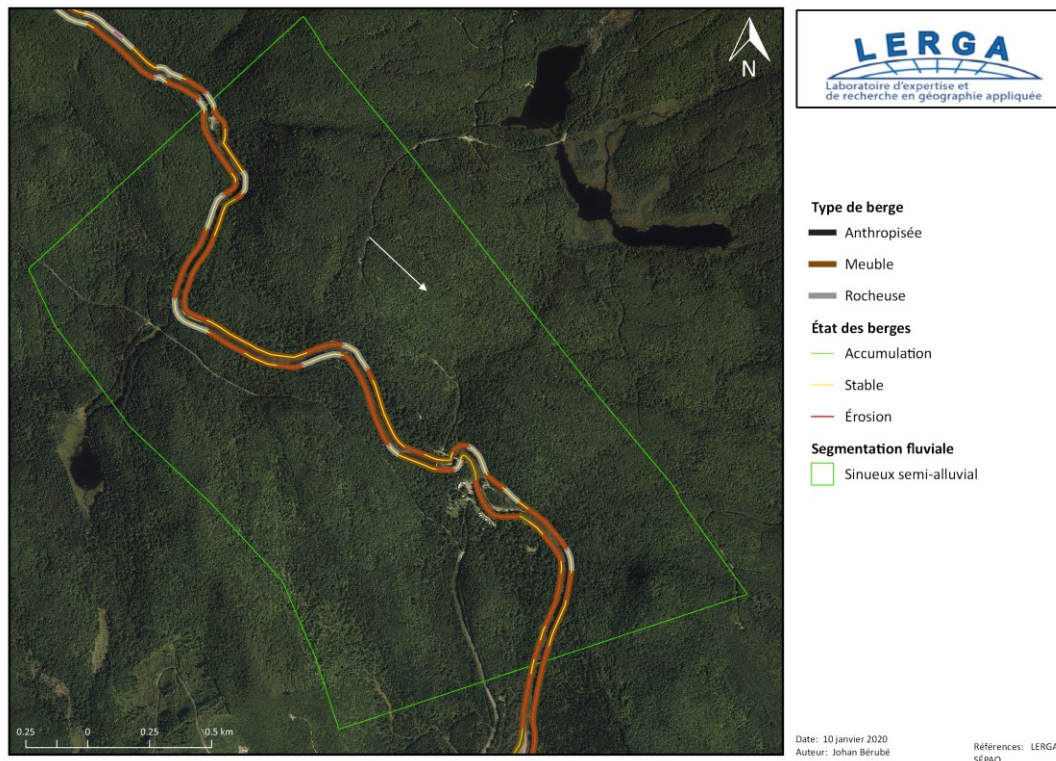


Figure 16. Présentation du type et de l'état des berges dans le segment sinueux semi-alluvial (segment B) à l'intérieur du corridor à l'étude

glaciers (Figure 18). Il constitue également l'interface entre les systèmes fluviaux et côtiers. Par conséquent, ce segment est soumis aux variations dans les conditions hydrauliques (p.ex. niveau d'eau, vitesse d'écoulement) engendrées par les marées semi-diurnes (deux fois par jour). Ces conditions occasionnent des débordements fréquents (inondations) au niveau du delta de la rivière Port-Daniel, favorisent la sédimentation de la fraction plus fine des sédiments en réduisant la compétence de l'écoulement ainsi que l'accumulation de bois mort. Ces processus dynamisent davantage le segment et favorisent les processus d'avulsion et la formation de chenaux secondaires. Les berges sont entièrement meubles (3,4 km) et majoritairement en érosion (2,3 km). La granulométrie des berges ne diffère pas énormément (Ga-Gr-Sa) de l'ensemble du corridor fluvial dans sa portion amont, mais une réduction notable est perceptible au niveau des bancs d'accumulation (D50 de 40mm contre une moyenne de 73mm pour les bancs d'accumulation dans le corridor fluvial).

Enfin, les différents segments ont été délimités en fonction de plusieurs caractères qui les rendent distincts. Ces différences au niveau des caractéristiques morphodynamiques leur procurent une sensibilité unique à chacun face aux événements perturbateurs (p.ex. variations au niveau des débits, des taux d'érosion, de la production en bois, etc.).

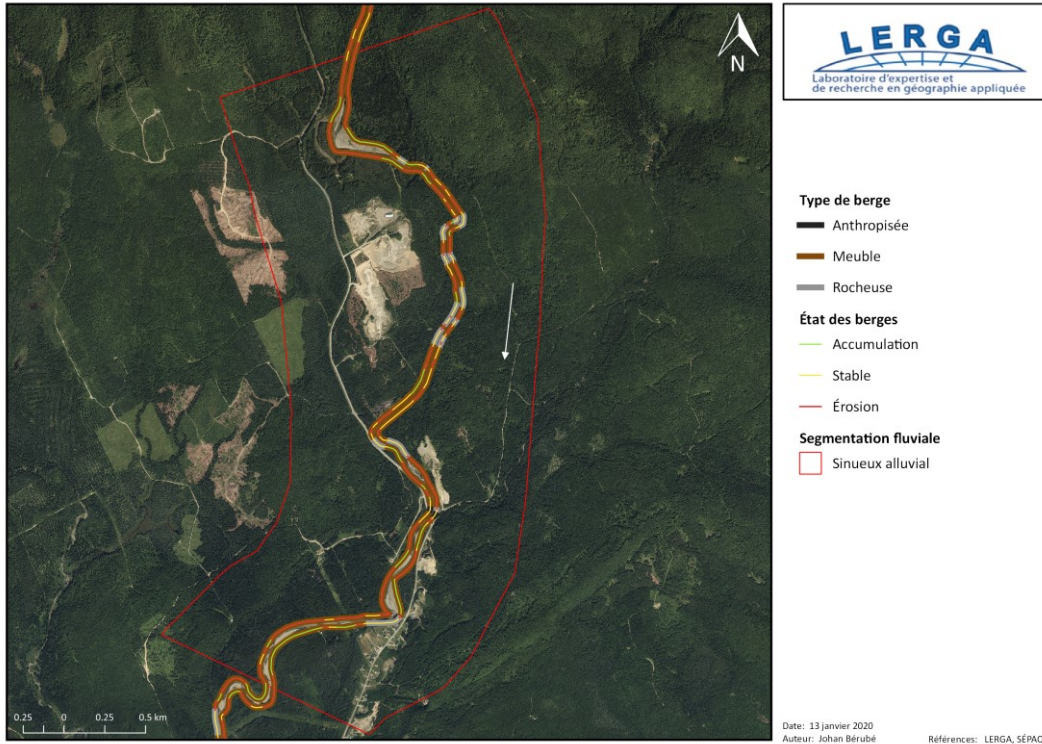


Figure 17. Présentation du type et de l'état des berges dans le segment alluvial-sinueux (segment C) à l'intérieur du corridor à l'étude

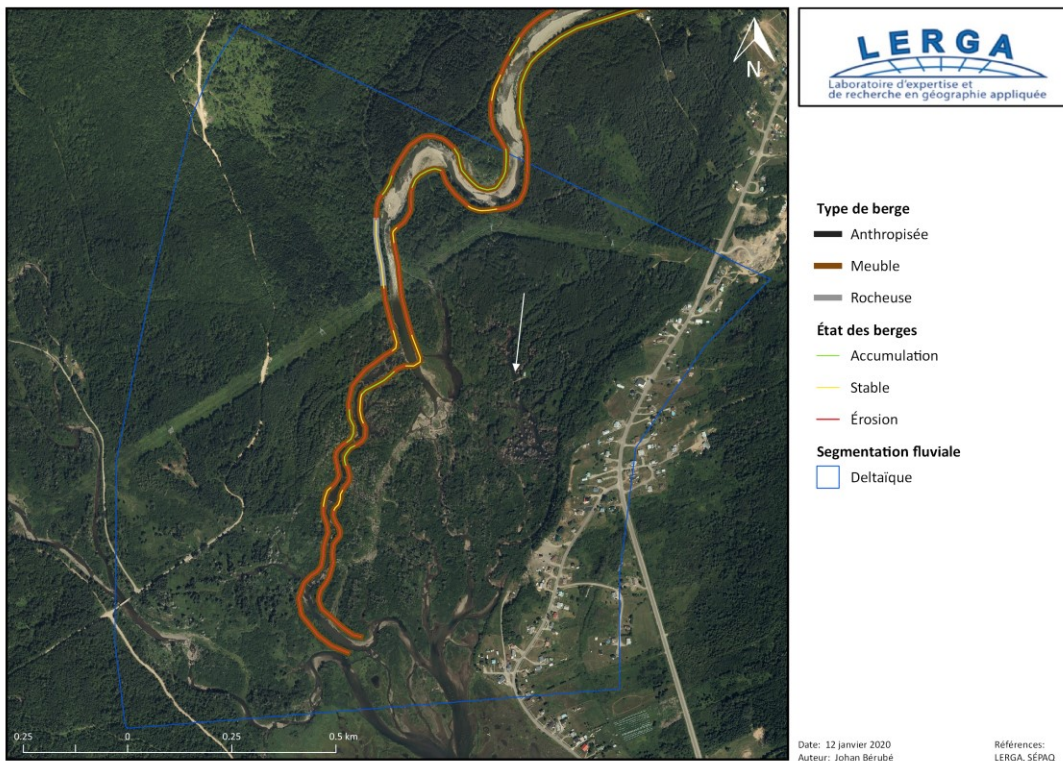


Figure 18. Présentation du type et de l'état des berges dans le segment deltaïque (segment D) à l'aval du corridor à l'étude

b. Analyse de la trajectoire géomorphologique

Le caractère évolutif des systèmes fluviaux témoigne conjointement du dynamisme des cours d'eau, de leur sensibilité face aux perturbations et de leur capacité à se réajuster (ou résilience). L'approche historique a permis de retracer visuellement l'évolution du territoire couvert, de l'environnement fluvial et du lit mineur sur environ 11 km du corridor à l'étude et ce, de 1964 jusqu'à 2019 (voir annexe 3). Cette étape a permis de ressortir les événements perturbateurs dans le temps, de les localiser et de caractériser sommairement la dynamique fluviale à chacune des époques.

Tout d'abord, le territoire à l'intérieur du bassin versant et son utilisation ont été modifiés au fil du temps, passant d'une utilisation davantage agricole dans le segment deltaïque, vers l'abandon généralisé de cette pratique vers 1986. Par la suite, l'abandon de l'utilisation des terres au niveau du delta concorde légèrement avec l'apparition d'indices de la présence du Castor du Canada (*Castor canadensis*). La colonisation de terres en friche par la végétation a toutefois permis à l'espèce de s'y installer aisément et d'être omniprésente à l'intérieur du segment à partir de 2010.

Ensuite, le tracé fluvial a également évolué au fil du temps. La Figure 19 témoigne de cette évolution en présentant les modifications de la géométrie planimétrique du lit mineur entre 1964 et 2019. Le lit mineur des tronçons analysés sont localisés au niveau des trois segments en aval, soit sinueux semi-alluvial et alluvial ainsi que dans le segment deltaïque. Il est important de noter que l'absence de certains segments du lit mineur à différentes périodes est occasionnée par le manque de disponibilité de couverture par les photographies aériennes (c.-à-d. 1964, 1986 et 2010).

Les modifications majeures du tracé fluvial qui ont été observées se résument principalement à des processus tels que des avulsions, des abandons de chenal, à la migration latérale ainsi qu'à la formation et la croissance de bancs d'accumulation centraux dépendamment du segment fluvial. De manière plus précise, peu de changements ont été observés dans le segment B (sinueux semi-alluvial) à l'exception de la formation et de changements dans la géométrie planimétrique des bancs d'accumulation.

Le segment C (sinueux alluvial) a, quant à lui, été plutôt actif au fil du temps. En effet, trois avulsions, formations ou abandon de chenal peuvent être observés en 2001 et 2010. La migration

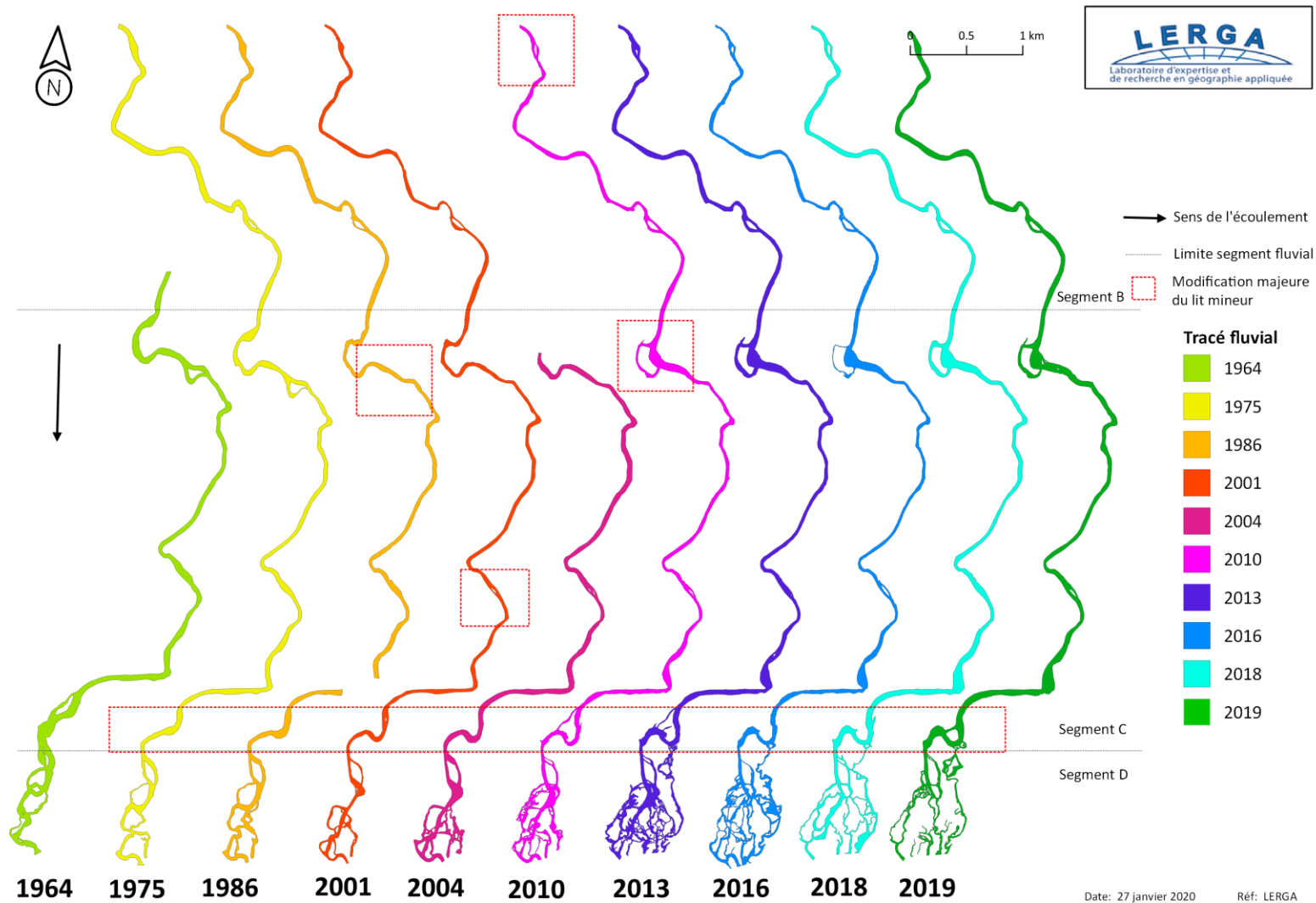


Figure 19. Évolution historique du lit mineur entre 1964 et 2019 dans le corridor fluvial à l'étude

latérale y est également active et s'illustre par des taux de recul élevés qui ont été mesurés dans plusieurs tronçons à méandres (Tableau 3 et Figure 11). Les sections transversales T1, T2, T3, T6 et T8 ont enregistré des taux annuels de recul assez élevés. Toutefois, les taux élevés observés dans le tronçon contenant les sections T1 à T3 s'expliquent par une avulsion du chenal, survenue entre 2004 et 2010, ou encore par l'abandon du chenal dans la séquence temporelle de 1975-1986 dans le cas de T3. Les taux de recul annuel qui ont été calculés aux sections T6 et T8 s'avèrent particulièrement élevés à partir du début du siècle, soit entre 2001 et 2016. Les taux varient entre 2,5 et 5,8 m/année pour T6 ainsi qu'entre 2,2 et 4,0 m/année pour T8. La boucle de méandre de T8 a d'ailleurs subi la formation de deux chenaux de débordement entre 2010 et 2019 dans deux axes différents.

Les taux de recul mesurés dans le segment deltaïque situé à l'aval sont plutôt faibles. Cependant, ils ne reflètent en rien la dynamique de ce segment qui s'avère celui ayant subi le plus de changement au niveau de la géométrie planimétrique du lit mineur. En effet, de nombreuses avulsions et modifications du tracé fluvial sont survenues de 1964 à 2019. L'évolution du tracé fluvial (Figure 19) illustre le passage progressif de ce segment d'un style sinueux-divagant d'une largeur de moins de 300m à un style multichenal anabranche d'une largeur d'environ 550m. Cette transition dans la géométrie planimétrique du lit mineur concorde d'ailleurs avec l'abandon de l'activité agricole dans ce secteur observé sur les photographies aériennes à partir de 1986.

L'ensemble du contexte historique et évolutif (c.-à-d. tracé fluvial et photographies aériennes ou imagerie satellitaire) des différentes séquences temporelles analysées peut être observé sur les cartes 9a à 9i (annexe 3). Les chiffres sous les profils transversaux indiquent la récurrence de chevauchement du lit mineur tout au long du profil transversal. Cela a permis de quantifier la multiplication des chenaux dans le temps. La séquence de carte montre le début du développement de chenaux autour de 2010, pour atteindre le point culminant autour de 2016. Une tendance à la diminution ainsi qu'à l'abandon de chenaux dans le segment deltaïque peut être observée par la suite. Le développement de plusieurs chenaux au niveau du delta concorde d'ailleurs avec les taux de recul annuels moyens les plus élevés (Tableau 3) ainsi qu'avec la récurrence des crues de grandes amplitudes observées (Figure 5) entre la période 2001 à 2019.

Tableau 3. Quantification de la migration latérale et calcul des taux annuels de recul dans les tronçons dynamiques identifiés dans le corridor fluvial à l'étude. Les valeurs en rouge indiquent les valeurs qui ont été calculées à partir de la séquence temporelle antérieure à celle non-disponible (ND)

Segment	Taux de recul (m / année)										Moyenne	Commentaire
	Séquence temporelle	Recul	Sinueux semi-alluvial					Sinueux alluvial				
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9		
1964 - 1975	Total (m)	17,5	16,4	6,1	0,4	12,8	12,3	4,3	27,4	0,2	4,2	
	Taux annuel ¹	1,6	1,5	0,6	0,0	1,2	1,1	0,4	2,5	0,0	0,4	
1975 - 1986	Total (m)	15,8	9,3	145,4	0,2	3,1	ND²	2,1	35,3	6,6	16,7	
	Taux annuel ¹	1,4	0,8	13,2	0,0	0,3	ND²	0,2	3,2	0,6	1,5	
1986 - 2001	Total (m)	3,8	5,0	2,7	0,4	14,6	3,7	5,4	25,8	9,3	3,5	Perte de connexion hydrologique avec le chenal secondaire
	Taux annuel ¹	0,3	0,3	0,2	0,0	1,0	0,1	0,4	1,7	0,6	0,2	
2001 - 2004	Total (m)	2,4	ND²	ND²	1,0	1,0	8,0	3,0	12,1	0,7	2,5	
	Taux annuel ¹	0,8	ND²	ND²	0,3	0,3	2,7	1,0	4,0	0,2	0,8	
2004 - 2010	Total (m)	117,3	108,9	13,3	2,5	9,9	22,6	8,6	13,4	5,8	17,2	Coupure de méandre à T1 et T2 entre 2001 et 2010
	Taux annuel ¹	19,6	12,1	1,5	0,4	1,6	3,8	1,4	2,2	1,0	2,3	
2010 - 2013	Total (m)	4,9	25,5	6,5	6,8	0,5	17,3	6,7	10,5	0,9	6,0	Apparition de chenaux de débordement
	Taux annuel ¹	1,6	8,5	2,2	2,3	0,2	5,8	2,2	3,5	0,3	2,0	
2013 - 2016	Total (m)	6,9	3,9	1,3	0,0	2,6	7,5	0,2	9,4	3,3	0,7	
	Taux annuel ¹	2,3	1,3	0,4	0,0	0,9	2,5	0,1	3,1	1,1	0,2	
2016 - 2019	Total (m)	4,3	8,8	11,1	5,1	6,3	15,1	6,5	10,2	10,1	5,2	
	Taux annuel ¹	2,5	2,5	3,7	1,7	2,1	5,0	2,2	3,4	3,4	1,7	
Moyenne (m / année)		3,8	3,9	3,1	0,6	0,9	3,0	1,0	3,0	0,9		

¹ Taux de recul calculé en m / année

² Non-disponible en raison du manque de précision ou de l'absence d'imagerie à cet endroit

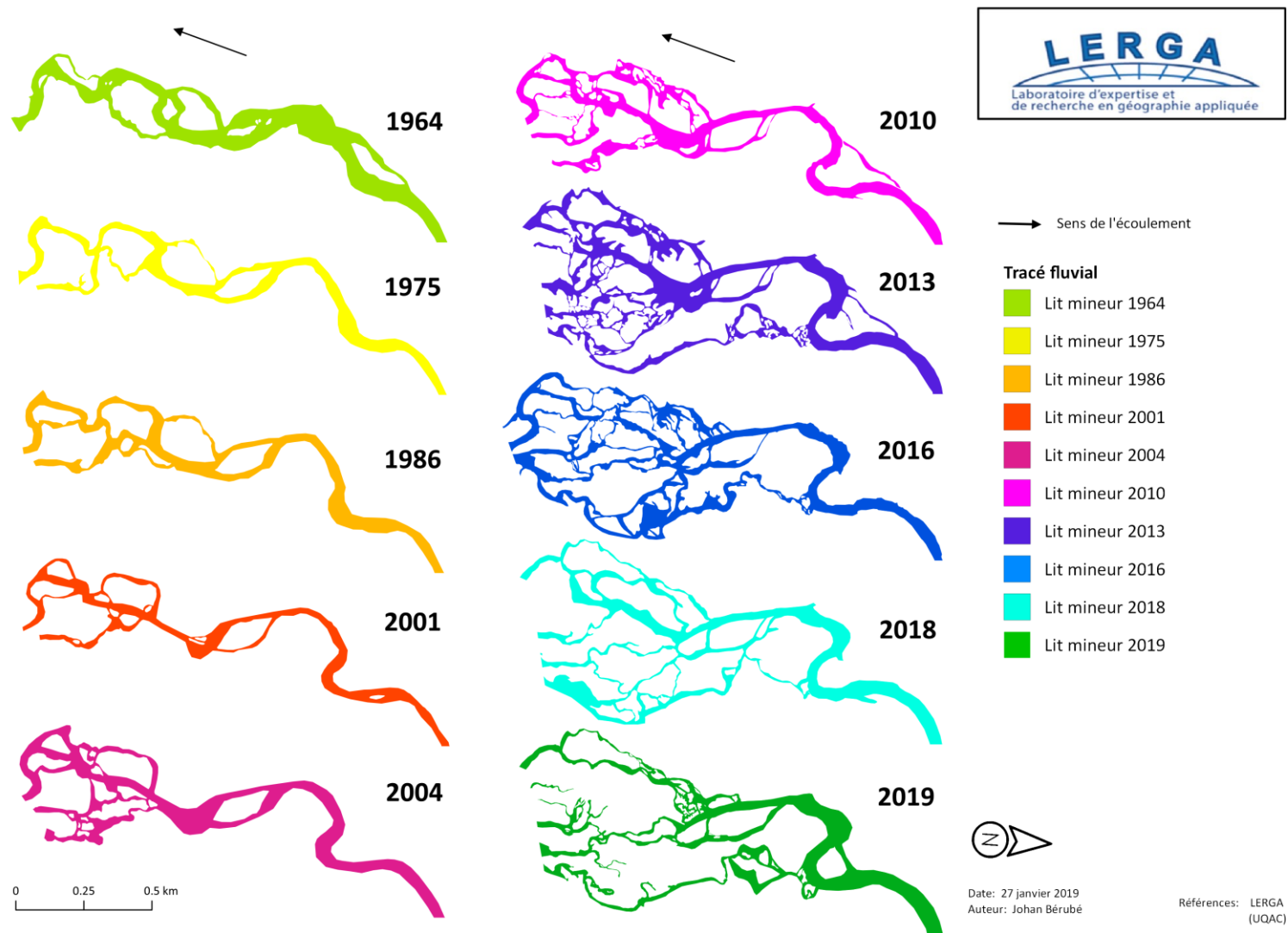


Figure 20. Évolution du tracé fluvial dans le segment deltaïque entre 1964 et 2019

Enfin, l'évolution du lit mineur dans le temps et l'espace ne peut se produire sans qu'il n'y ait de processus d'érosion et d'accumulation dans le système fluvial. Ces processus influencent également la dynamique du bois en rivière en permettant à la fois la colonisation des bancs d'accumulation par la végétation ligneuse ainsi qu'en apportant les arbres implantés sur les berges dans le lit mineur, augmentant par le fait même le volume de bois présent dans système fluvial.

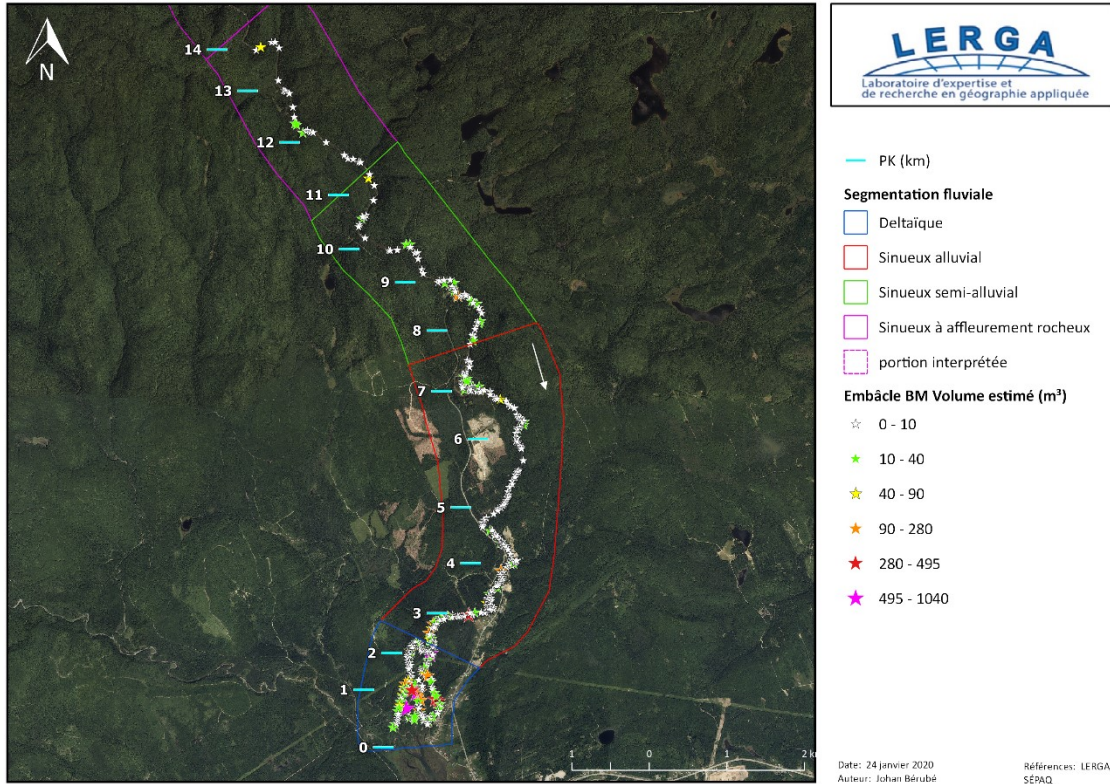


Figure 21. Distribution spatiale des embâcles de bois mort présent dans le corridor fluvial à l'étude

c. Évaluation du bilan ligneux et analyse de la dynamique du BM

Les embâcles de bois présent sur les berges et le lit mineur ont été mesurés le long du corridor fluvial à l'étude afin d'en extraire les volumes de chacun et de quantifier la présence de bois mort dans le système fluvial. La Figure 21 présente la distribution spatiale des embâcles en fonction du volume calculé. Un volume totalisant 6 225,5 m³ est présent dans la portion du corridor fluvial qui a été étudiée. La Figure 22 montre la courbe de volume cumulé selon la position sur le profil en long et les pentes du lit de chacun des segments. L'accumulation de bois mort semble progressive

tout au long du profil jusqu'à atteindre le segment deltaïque, soit environ au PK 3,0 km. En effet, c'est à partir de cette transition fluviale que le volume total de bois mort dans le système fluvial commence à se cumuler de manière exponentielle, et ce pratiquement jusqu'à l'exutoire (PK 0,0 km). Cela s'explique par le fait que le segment deltaïque contient le plus grand nombre d'embâcles de bois mort de fortes dimensions, représentant un volume totalisant 88% du volume total (5 507,5 m³). Cette zone d'accumulation massive perceptible au niveau de la courbe de volume cumulé concorde d'ailleurs avec la réduction de la pente présente au niveau de la transition entre les deux segments présents en aval (segments C et D) et l'augmentation du nombre de chenaux.

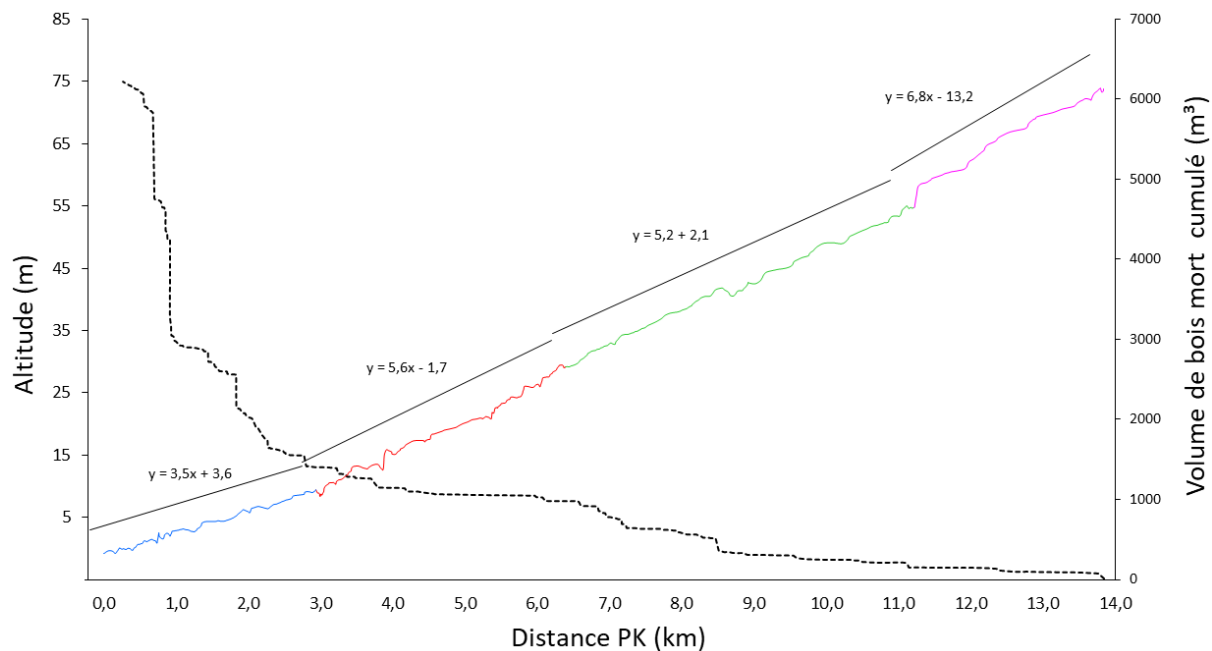


Figure 22. Présentation de la courbe cumulée (ligne noire pointillée) de volume de bois en fonction de la position longitudinale, des segments (A à D) et de la pente du lit

Les surfaces de berge érodée obtenues par l'approche historique ainsi que les stations d'inventaire végétal réalisées (voir tableau annexe 4) ont permis de quantifier les apports en BM pour chacune des époques. Le produit des valeurs de superficie érodée et de la densité volumétrique moyenne (c.-à-d. 1,0 m³/m²) a permis d'estimer les apports en BM pour chaque tronçon. Les volumes ont ensuite été cumulés sur l'ensemble du corridor fluvial (Tableau 4 et Figure 22). Les périodes les plus productives sont, en ordre décroissant, 2004-2010 (649,5 m³/année), suivies de 2001-2004 (234,9 m³/année), de 2013-2016 (234,5 m³/année) et de 2016-

2019 (208,1 m³/année). Les endroits les plus productifs en termes de bois mort sont les tronçons V7 et V9. Ces deux tronçons possèdent respectivement des apports annuels moyens de 112,7 et 53,1 m³/année. Ces deux mêmes tronçons ont produit un maximum de 586,2 et 204,1 m³/année lors des séquences temporelles de 2004-2010 et 2001-2004. Cela explique d'ailleurs les taux de production annuels moyens plus élevés lors de ces deux époques. Ces deux séquences temporelles s'avèrent également les plus productives, soit de 234,9 m³/année et 649,5 m³/année, avec celle de 2010-2013 (234,5 m³/année) et de 2016-2019 (208,1 m³/année). Les apports de bois en rivière qui ont été cumulés depuis 1964 totalisent un volume de 7740 m³/année.

Tableau 4. Présentation de l'apport en BM estimé à partir des superficies érodées et de la densité volumétrique moyenne du corridor fluvial (c.-à-d. 1,0 m³/m²)

Segment		Sinueux semi-alluvial		Sinueux alluvial		Delta	Somme (m ³ / an)	Moyenne (m ³ / an)
Séquence temporelle	Station d'inventaire associée au segment	V4	V5	V7	V8	V9		
1964 - 1975	Superficie érodée (m ²)			31405	15116	3978	50499	16833
	Prod. an. moy. (m ³ /an)			29,4	14,1	3,7	47,3	15,8
1975 - 1986	Superficie érodée (m ²)	6035	5054	34575	3098	20537	69299	13860
	Prod. an. moy. (m ³ /an)	5,6	4,7	32,4	2,9	19,2	64,9	13,0
1986 - 2001	Superficie érodée (m ²)	1564	4922	10700	5140	12391	34717	6943
	Prod. an. moy. (m ³ /an)	1,1	3,4	7,3	3,5	8,5	23,8	4,8
2001 - 2004	Superficie érodée (m ²)				8971	59454	68425	34213
	Prod. an. moy. (m ³ /an)				30,8	204,1	234,9	117,4
2004 - 2010	Superficie érodée (m ²)			341573	5075	31791	378439	126146
	Prod. an. moy. (m ³ /an)			586,2	8,7	54,6	649,5	216,5
2010 - 2013	Superficie érodée (m ²)		11383	21880	17998	17053	68314	17079
	Prod. an. moy. (m ³ /an)		39,1	75,1	61,8	58,5	234,5	58,6
2013 - 2016	Superficie érodée (m ²)	8435	4733	2991	2167	3037	21363	4273
	Prod. an. moy. (m ³ /an)	29,0	16,2	10,3	7,4	10,4	73,3	14,7
2016 - 2019	Superficie érodée (m ²)	4247,0	7305,0	14059	15878,0	19133,0	60622	12124
	Prod. an. moy. (m ³ /an)	14,6	25,1	48,3	54,5	65,7	208,1	41,6
Moyenne (m³/an)		12,6	17,7	112,7	23,0	53,1	7740 m ³ / 55 ans	

Les apports de BM dans le lit mineur et les taux de production favorisent les interactions entre les dynamiques fluviales et du BM. Les ajustements morphodynamiques liés à l'hydrogéomorphologie et/ou à la présence de bois en rivière peuvent être nombreux et, par conséquent, avoir des répercussions sur la trajectoire géomorphologique de la rivière Port-Daniel et sur les habitats lotiques.

Résumé des résultats :

- Le corridor fluvial a été divisé en quatre segments possédant des caractéristiques morphodynamiques similaires : Segment sinueux à affleurement rocheux (A), sinueux semi-alluvial (B), sinueux alluvial (C) et deltaïque (D);
- Les berges sont majoritairement meubles, entrecoupées d'affleurements rocheux dans les segments amont (A et B), et montrent d'importants signes d'érosion dans les segments aval (C et D);
- De l'amont vers l'aval, un gradient d'affinement dans la granulométrie du lit mineur ainsi qu'un élargissement de la plaine alluviale sont observés;
- Plusieurs changements hydrogéomorphologiques ont été observés dans le temps dont la formation de bancs d'accumulation centraux, l'avulsion par recoupement de méandre en amont du segment B, la formation et l'abandon de chenaux secondaires dans le méandre en aval du segment B, mais surtout au niveau du delta de la rivière Port-Daniel. **Ce segment a d'ailleurs subi un changement de style fluvial, passant d'un style divagant à un style multichenal anabranché;**
- Les tronçons les plus dynamiques sont ceux de T1-T2, T6 et T8 dont la moyenne des taux d'érosion annuels varie entre 3,0m et 3,9. Les taux de recul annuels les plus élevés ont été observés entre 2004 et 2019;
- L'évolution dans le temps et l'espace du tracé fluvial, de la géométrie planimétrique et des styles fluviaux est majoritairement **associée aux crues morphogènes ainsi qu'à la présence de bois en rivière;**
- Un volume totalisant 6 225 m³ a été mesuré à l'intérieur du corridor fluvial à l'étude, dont 88% du volume total (5 507,5 m³) est localisé dans le segment deltaïque;
- Le bilan ligneux historique montre que les séquences temporelles les plus productives en bois sont entre 2001 et 2019;
- Les tronçons les plus productifs dans le temps sont V7 et V9. Ces derniers apportent en moyenne un volume respectif de 112,7 et 53,1 m³/année ainsi qu'un apport maximal de 586,2 (période 2001-2004) et 204,1 m³/année (période 2004-2010);
- Le cumul historique des apports en bois dans la rivière Port-Daniel totalise un volume de 7 740 m³ sur une période de 55 ans.

V DISCUSSION

Tel que décrit dans le chapitre précédent, la relation entre le bois en rivière et la dynamique fluviale se manifeste de façon bidirectionnelle (Abbe et Montgomery, 1996). En premier lieu, les interactions entre la dynamique du bois mort de la rivière Port-Daniel et la dynamique fluviale ainsi que l'impact de ses interactions sur la trajectoire géomorphologique du cours d'eau seront discutés. L'évaluation de l'impact du bois en rivière et la présence du Castor du Canada (*Castor canadensis*) sur le comportement migratoire du Saumon de l'Atlantique (*Salmo salar*) seront ensuite abordées. Enfin, des pistes interventions potentielles et de suivis des dynamiques seront proposées et discutées ainsi que leurs impacts sur le système fluvial.

a. Interactions entre la dynamique fluviale, du bois mort et la trajectoire géomorphologique de la rivière Port-Daniel

Les impacts de la présence de bois en rivière sont directement observés au sein de la section transversale d'un cours d'eau. Les effets discutés dans le chapitre précédent sont généralement localisés à proximité du bois et des embâcles. De plus, lorsque de grands volumes de bois ou un nombre élevé d'embâcles sont présents dans le chenal, ces effets peuvent se manifester de façon répétée et hiérarchisée le long du corridor fluvial (Abbe et Montgomery, 2003; Boivin *et al.*, 2019). Dans le cas échéant, les réponses du système fluvial sont directement liées à la présence de bois en rivière et des réajustements de différentes intensités peuvent survenir sur des tronçons entiers, voire des segments.

En premier lieu, la ripisylve présente sur les berges de la rivière Port-Daniel est généralement composée d'arbres matures dont la hauteur et le DHP sont élevés (voir tableau et feuillets d'inventaire à l'annexe 4). Ces arbres constituent d'excellents points d'ancrage pouvant initier la formation d'embâcle en raison de leur hauteur excédant parfois la largeur du lit mineur (p.ex. segment A et chenaux secondaires du segment D) et de l'importance du réseau racinaire présent chez les arbres matures. La distribution spatiale du bois mort dans la portion étudiée montre la variabilité longitudinale au niveau du volume, du nombre d'embâcles de bois et de leur degré d'influence sur la dynamique fluviale (Figure 21 et Figure 22). L'augmentation progressive du volume et de la quantité embâcles s'explique par la transition graduelle dans la structure de la vallée passant d'un segment généralement encaissé et contraint dans le roc à celui alluvial

permettant la migration latérale (et l'érosion). Le processus de migration latérale devient alors de plus en plus possible par l'élargissement de la plaine alluviale dans les segments aval, favorisant ainsi la transition vers un style fluvial plus dynamique ainsi que le recrutement de bois dans la rivière. Ce gradient peut également se résumer à un passage graduel des segments constituant des zones de production et de transition de BM (segments amonts A et B) ayant un moindre impact sur la dynamique fluviale vers des segments jouant le rôle de zones de stockage temporaire (segment C) ou permanent (segment D). Les ajustements morphologiques observés à l'aval dans l'embouchure sont davantage liés à la quantité de bois en rivière et la présence du castor.

Les changements observés au niveau du lit mineur de la rivière Port-Daniel témoignent de l'intensité des interactions entre la dynamique fluviale et le bois en rivière. D'une part, l'évolution progressive des processus de migration latérale (Tableau 3) et l'abandon graduel de chenaux sont observés avant 2001 (Figure 19 et Figure 20). D'autre part, plusieurs événements hydrologiques de grandes intensités ont engendré des modifications majeures de la géométrie planimétrique, particulièrement pour la période de 2001 à 2010 avec une augmentation significative des taux d'érosion. Les crues qui ont été observées en 2004, 2008, 2010, 2011 et 2017 (Figure 8) ont provoqué au fil du temps un recouplement de méandre et la formation d'un nouveau chenal dans la portion amont du segment B, d'importants taux de recul des berges ainsi que la formation et l'abandon de chenaux secondaires dans le méandre situé en aval du segment C (Figure 19).

L'érosion des berges, l'avulsion du chenal principal et la réactivation de chenaux secondaires ont ainsi favorisé le recrutement massif de bois mort dans le système fluvial. Malgré la migration latérale rapide observée et la superficie élevée des bancs d'accumulation présents dans trois boucles de méandres de la section B (c.-à-d. T1-T2, T5-T6 et T8), la présence d'accumulation de bois le long des berges peut favoriser la stabilisation du chenal (Shields et Smith, 1992; Abbe et Montgomery, 2003; Collins *et al.*, 2012). En effet, les embâcles peuvent servir d'agent stabilisateur pour les bancs d'accumulation et les berges en réduisant localement les vitesses d'écoulement. Cela agit sur la dynamique hydrosédimentaire en favorisant le dépôt de sédiments au niveau des bancs d'accumulation (Annexe 2, photo 3) ou minimise la mise en transport des sédiments au niveau des berges (Annexe 2, photo 4). Dans certains cas, les accumulations de bois permettent aux bancs d'accumulation de se végétaliser (Annexe 2, photo 5), ce qui confère une stabilité accrue du chenal (Collins *et al.*, 2012; Wohl, 2013). La présence d'embâcles latéraux distribués le

long des berges peut expliquer en partie la réduction des taux d'érosion observée au niveau de ces trois boucles de méandre à la suite de l'apport massif en bois provenant des crues de 2010-2011 (Tableau 3). Toutefois, la diminution des taux d'érosion observée depuis 2013 peut être temporaire en raison de la nature éphémère des petits et moyens embâcles et de leur effet à double-sens. En effet, leur taille ne permet pas d'être ancré profondément au lit de la rivière et, par conséquent, ils risquent de se faire emporter ou de se désagréger lors de crues majeures subséquentes. De plus, les embâcles peuvent à la fois stabiliser les berges et exacerber les processus d'érosion. Par exemple, l'accumulation latérale protège la berge concave contre l'érosion, mais redirige l'écoulement vers la berge opposée où un foyer d'érosion apparaît. Il se peut donc que les embâcles modifient le tracé fluvial selon les apports futurs et la configuration de ceux-ci.

La séquence temporelle a confirmé que les crues entre 2004 et 2010, dont la crue majeure de 2008, ont initié la formation de l'embâcle massif localisé dans la portion aval du delta (annexe 3). Cela concorde d'ailleurs avec l'augmentation des superficies érodées et des volumes de bois totaux comptabilisés dans la Figure 23. Les crues successives de décembre 2010, celles de 2011 et 2017 ont, quant à elles, contribué à l'augmentation du volume ainsi qu'à la densification de l'accumulation de BM dans le delta. L'accumulation rapide de bois en rivière dans le segment deltaïque, telle qu'observée entre 2004 et 2010, a provoqué des ajustements morphologiques proportionnels à l'intensité du processus de formation d'un embâcle de cette envergure. L'occlusion du chenal a entraîné la formation d'un nouveau chenal principal et de nombreux chenaux d'évacuation à partir de 2010 (Figure 24). Le nombre de chenaux secondaires dans le delta augmente significativement de 2004 à 2016 et diminue par la suite entre 2016 et 2019 (annexe 3 et Figure 20). Les observations terrain et la comparaison entre les images de drone et satellitaire de 2019 et celles depuis 2010 révèlent que la rivière a changé de tracé après 2016, soit lorsque l'embâcle massif a commencé à se combler de sédiments, pour ensuite s'écouler par le chenal secondaire localisé au nord-ouest dudit embâcle.

La formation, la multiplication de chenaux secondaires, les avulsions, les abandons de chenaux et le changement dans le tracé fluvial sont des réajustements typiques environnements estuariens de type delta (Figure 24). Ils sont plus intenses lorsque celles-ci sont soumises à d'importants apports de bois en rivière, car ils interagissent avec la dynamique hydrosédimentaire. En effet, la porosité de ces accumulations leur confère à la fois la capacité de laisser passer les sédiments et

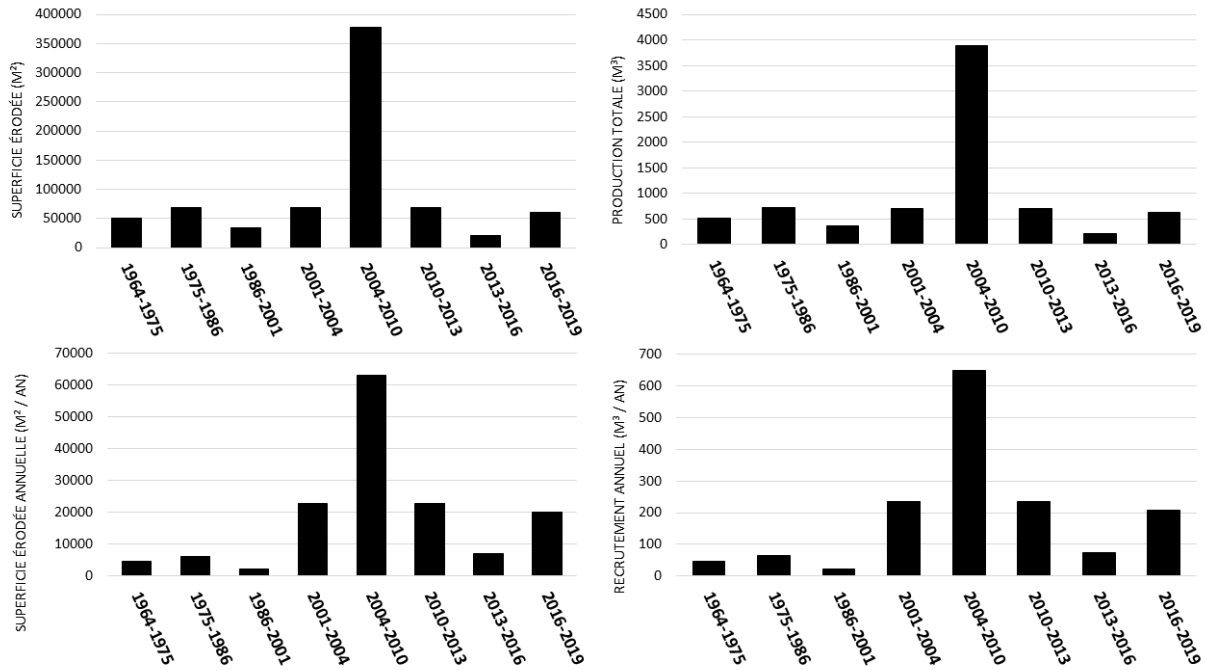


Figure 23. Évolution temporelle des superficies érodées, du volume de bois apporté en rivière (volumes totaux et annuels pour chacune des séquences temporelles).

de ralentir l'écoulement. Cela favorise ainsi la sédimentation et le captage de sédiments à l'intérieur de l'embâcle. À plus ou moins long terme, l'élévation du lit du cours d'eau par l'**aggradation** provoque l'arrêt de l'écoulement lors des périodes d'étiage et la colonisation progressive du lit par la végétation lorsque celui-ci atteint l'altitude de la plaine alluviale. Plusieurs chenaux secondaires dans le delta sont contraints aux phénomènes d'aggradation et pourraient être abandonnés éventuellement si la dynamique hydrosédimentaire et l'apport en BM demeurent constants. Il a été observé sur la rivière Saint-Jean que les embâcles de bois dans l'embouchure ont engendrés des avulsions à chaque période de dix ans. La présence de bois en rivière a permis l'accumulation de sédiments, causant ainsi une aggradation du lit qui a engendré la création d'un nouveau chenal principal (Boivin *et al.*, 2015). L'embouchure de la rivière Port-Daniel se comporte d'une façon similaire en réponse à la présence de bois, particulièrement entre 2004 et 2016 où quelques apports considérables en bois sont arrivés dans le segment estuarien.

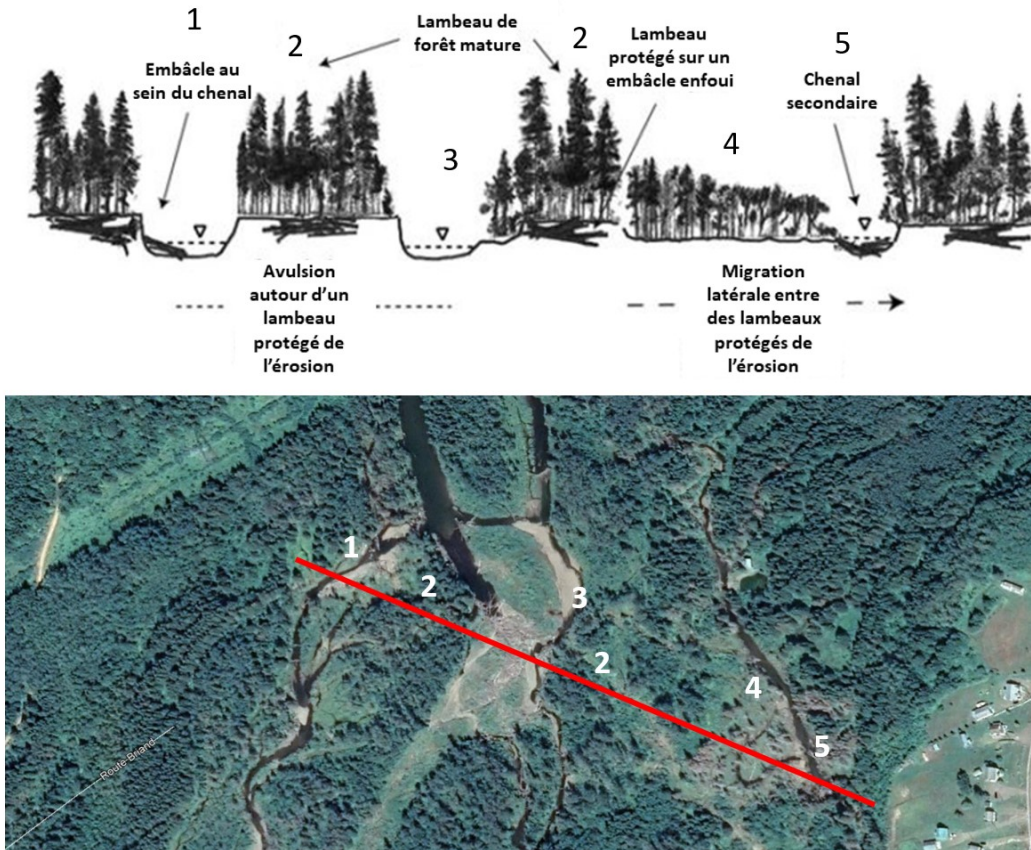


Figure 24. Coupe schématique d'une plaine alluviale (adaptée de Collins *et al.* 2012); b) représentation de la coupe dans l'embouchure de la rivière Port-Daniel

La stabilisation et l'aggradation du lit provoquées par les accumulations de bois entrent dans le cycle naturel d'entretien et de reconstruction d'une plaine alluviale (Figure 25 et annexe 2 photo 5). L'obstruction de l'ancien chenal principal s'avère ainsi le début de la reconstruction de la plaine alluviale. Il est important de souligner qu'une portion de l'ancien chenal principal, totalisant plus de 800m (voir photographies aériennes de 2004 à l'annexe 3) a été comblé de bois et de sédiments pour être ensuite colonisé par des espèces colonisatrices (p.ex. Peuplier baumier, Peuplier faux-tremble, cerisiers et saules) en moins de 15 ans (annexe 2 photos 5 et 6). Les profils transversaux présentés aux Figure 26 à Figure 28 montrent le procédé de reconstruction de la plaine alluviale où plusieurs coupes enlignent, d'est vers l'ouest, le chenal principal, l'embâcle massif en train de se combler et des chenaux secondaires actifs ou intermittents. Les coupes T4, T5, T12 et T14 illustrent les altitudes plus élevées au niveau de l'embâcle massif qui se rapprochent de celles de la plaine alluviale, mais aussi au niveau des deux chenaux secondaires à l'est dont d'importants volumes de sédiments ont été observés au niveau du lit. L'aggradation semble plus importante dans la portion amont de ses chenaux en raison de la présence

d'embâcles qui entravent considérablement l'écoulement (Figure 26 et annexe 2 photo 7). Cela favorise la sédimentation résultant en un écoulement de surface quasi interrompu à certains endroits (annexe 2 photos 8 et 9).

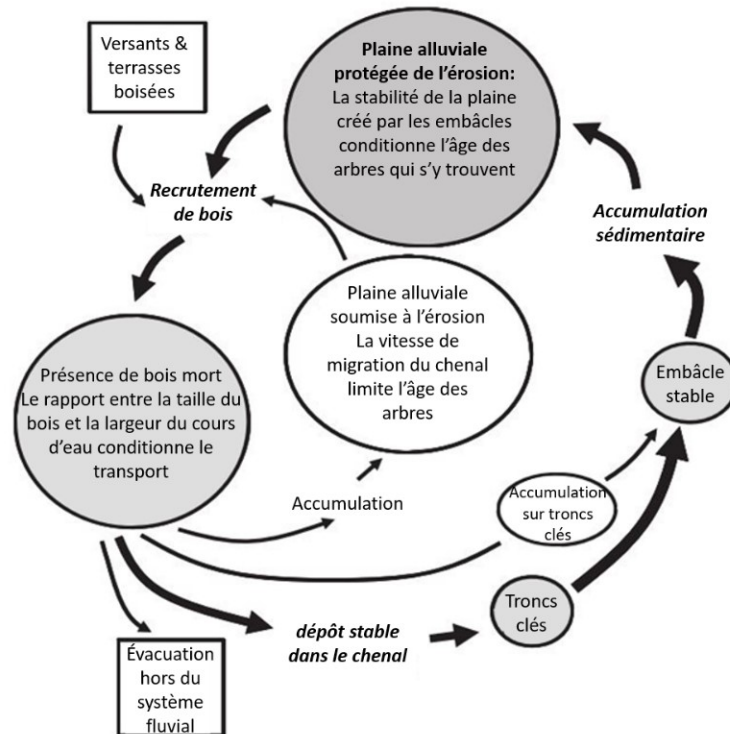


Figure 25. Cycle de la plaine alluviale (adaptée de Collins *et al.*, 2012)

La présence de bois dans le segment deltaïque permet aux chenaux présents de se stabiliser, de diversifier la morphologie et les habitats fauniques. Les changements dans l'utilisation du sol (dont l'abandon de la pratique agricole) dans ce segment a également permis au Castor du Canada de s'implanter. Cet animal est reconnu pour la construction d'ouvrages de rétention d'eau (c.-à-d. barrages) qui ont des effets sur la dynamique fluviale similaires en plusieurs points aux effets du bois mort. Ces aménagements sont toutefois voués à être imperméables afin de favoriser la rétention de l'eau et l'effet de refoulement tant recherché par cet animal et temporaire. L'évolution de la morphologie du delta (p.ex. augmentation du nombre de chenaux influencé par les embâcles et, potentiellement, la présence de castor) a permis aux castors de s'implanter davantage dans ce secteur. Ainsi, l'embouchure est influencée par la présence de bois, depuis le milieu des années 2000, et par la présence de plus en plus marquée de cet animal.

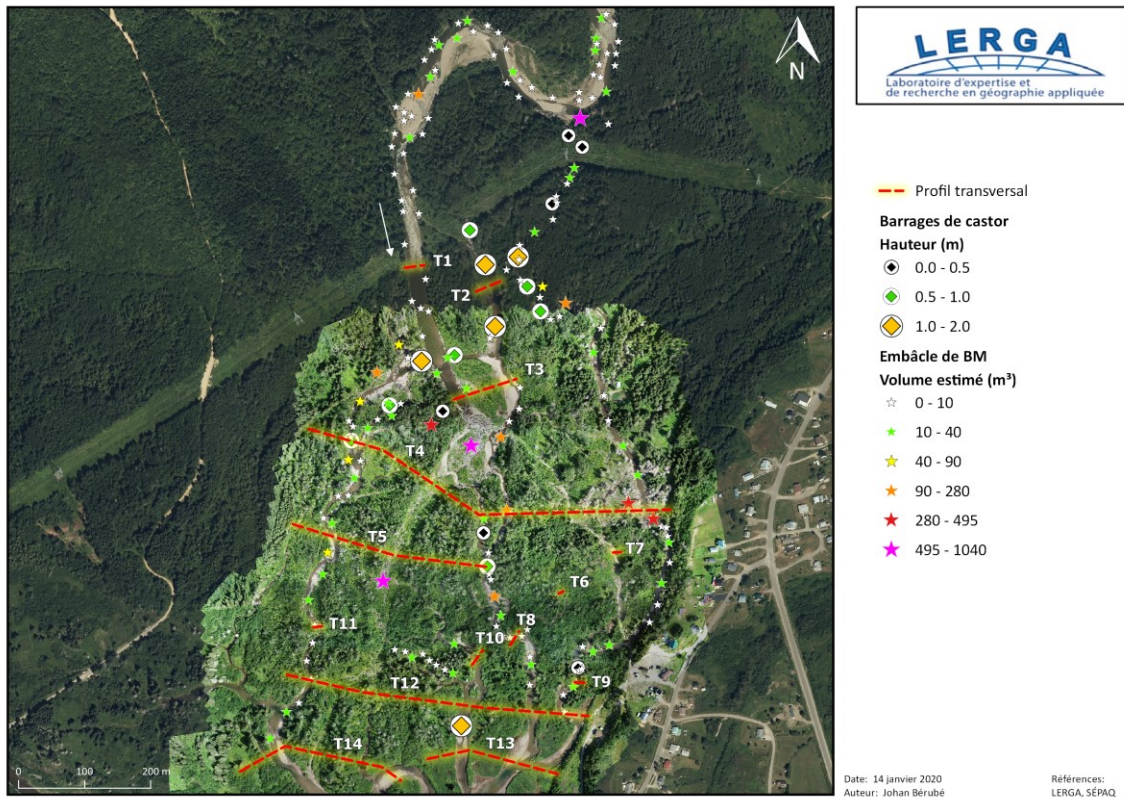


Figure 26. Localisation des embâcles de bois, des barrages de castor selon leur taille et localisation des profils transversaux dans le segment D (delta)

a. Migration anadrome du Saumon de l'Atlantique

La présence de bois en rivière apporte son lot d'inquiétude par rapport à la gestion des risques, de la ressource ichthyque et de leurs habitats. L'apport de bois en rivière, la formation d'embâcles et la construction de barrages ont certes un impact sur la morphologie et la dynamique des cours d'eau, mais ils contribuent également à modeler un cadre physique et des conditions environnementales pour les organismes vivants côtoyant les écosystèmes lotiques et riverains. Malgré le fait qu'une grande majorité d'études mentionnent l'amélioration de la qualité des habitats et soulignent la réponse positive des salmonidés dans les cours d'eau ayant du bois en rivière (Roni *et al.*, 2015, Wolh *et al.*, 2019), son influence sur la migration anadrome du saumon demeure toutefois nuancée. Par conséquent, les impacts de la dynamique du BM sur le comportement migratoire des salmonidés seront discutés sous forme d'un bilan élargi présentant les impacts positifs et négatifs appuyés par la littérature. La cohabitation des salmonidés avec le Castor du Canada (*Castor canadensis*) sera ensuite abordée.

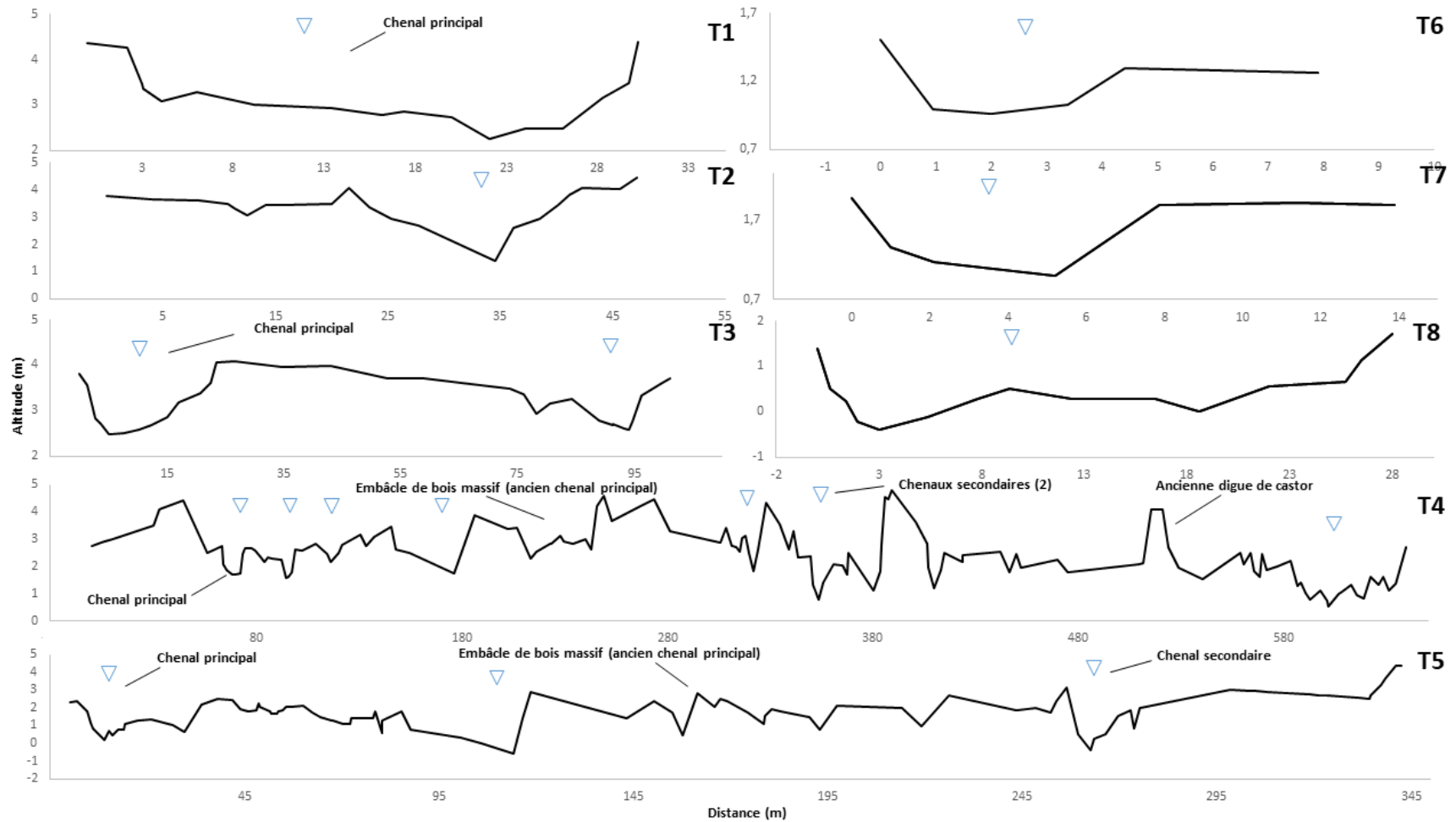


Figure 27. Présentation des profils transversaux T1 à T8. Les axes verticaux ainsi qu'horizontaux représentent respectivement l'altitude par rapport au niveau marin des mers et la position longitudinale le long du profil et les triangles bleus positionnent les différents chenaux dans l'embouchure.

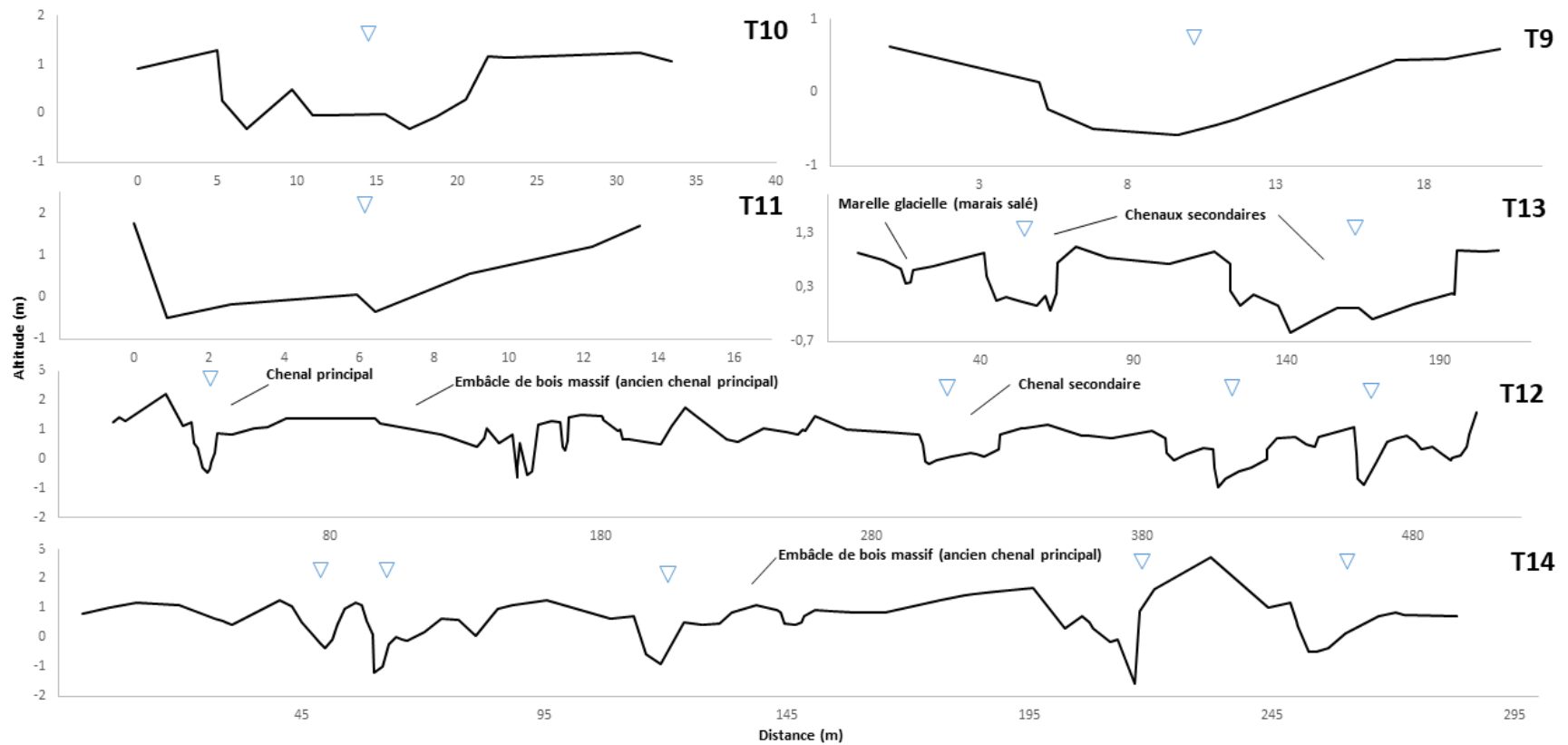


Figure 28. Présentation des profils transversaux T9 à T14. Les axes verticaux ainsi qu'horizontaux représentent respectivement l'altitude par rapport au niveau marin des mers et la position longitudinale le long du profil et les triangles bleus positionnent les différents chenaux dans l'embouchure

i. Influence de la présence de bois en rivière

Tout d'abord, l'influence de la variation des conditions hydrologiques (c.-à-d. débits, niveau d'eau, marées) sur les patrons de migration et la disponibilité des salmonidés en rivière est reconnue depuis longtemps par les pêcheurs (Earl Hodgson, 1927 dans Milner *et al.*, 2012). Malgré cela, aucune réponse claire issue d'un consensus ne peut être fournie en ce qui a trait au débit requis pour permettre au poisson de pénétrer dans l'estuaire et d'entamer sa migration anadrome (Milner *et al.*, 2012). La variabilité des conditions hydrologiques affecte la migration en entraînant un coût énergétique supplémentaire (1), ainsi qu'en fournissant un signal à la montaison (2). Les individus doivent ainsi trouver les conditions de migration optimales afin de faciliter le passage au travers des obstacles tout en minimisant les dépenses énergétiques. La présence d'embâcles de bois affecte ses deux facteurs en raison de son impact sur les conditions hydrauliques. Il agit à la fois de refuge hydrologique et d'obstacle à la migration. Toutefois, leur impact sur le passage du saumon ne peut être systématiquement assumé en raison des caractéristiques changeant d'un embâcle à l'autre.

Tel que présenté précédemment, la présence de bois en rivière contribue grandement à la diversification des formes dans le lit mineur en altérant les conditions hydrauliques et hydrologiques. La diversité d'habitats que cela apporte peut combler les besoins à la faune ichtyenne à différents stades de leur cycle de vie ou à différentes périodes cruciales de l'année (Schlosser, 1991; Wolh *et al.*, 2019). Les embâcles jouent également un rôle écologique considérable permettant d'augmenter la qualité des écosystèmes lotiques en facilitant l'implantation et la croissance d'algues ainsi que la colonisation par les macroinvertébrés, les organismes benthiques et les poissons. Les impacts se répercutent même au niveau des écosystèmes riverains en alimentant la plaine alluviale en sédiments ainsi qu'en nutriments, favorisant ainsi la croissance des végétaux sur les rives. La croissance de la ripisylve protège en retour le plan d'eau contre le rayonnement solaire et permet aux salmonidés de demeurer dans un milieu tempéré lors de la période estivale.

Les zones de faible courant en amont des embâcles créées par le refoulement de l'eau en rivière sont des endroits fortement prisés par les salmonidés pouvant servir de refuges hydrologiques lors de crues, d'hivernage ou lors de périodes d'étiage. De plus, les interstices présents dans les embâcles poreux peuvent servir à la protection contre les prédateurs et s'avèrent des refuges

thermiques en raison des zones ombragées présentes sous les embâcles de bois. Ces refuges thermiques sont particulièrement cruciaux pour les salmonidés, car l'oxygène dissout dans l'eau est directement lié à sa température. De plus, la température de l'eau affecte la capacité à nager et la consommation d'oxygène des salmonidés, car ce sont des organismes **poïkilothermes** (Brett, 1971 dans Milner *et al.*, 2012; Tetzlaff, 2008). Ces zones d'accalmie peuvent jouer ces mêmes rôles lors de la migration anadrome du saumon et fournir des refuges temporaires lors de leur périple vers leurs zones de fraie.

Ensuite, les embâcles de bois possèdent des dimensions, une densité ainsi qu'une porosité propre à chacun et qui influencent différemment la libre circulation des eaux. En ce qui a trait aux accumulations de BM observées dans la rivière Port-Daniel, trois embâcles obstruant complètement la largeur plein-bord du chenal principal ont été observés dans le chenal principal, mais aucun n'entrave l'aire hydraulique à plus de 75%. Ces embâcles sont généralement constitués d'arbres tombés au-dessus du cours d'eau et de bois mort accrochés ainsi qu'apportés lors de leur transport à la surface de l'eau (annexe 2, photo 11). De plus, la grande majorité des embâcles dans le chenal principal sont ainsi disposés sur les bancs d'accumulation ou sont plaqués le long des berges. Par conséquent, les embâcles présents dans le chenal principal ne représentent pas une entrave majeure à l'écoulement, ni au passage du saumon. Toutefois, les embâcles sont connus pour modifier la dynamique hydrosédimentaire dans le système fluvial et, par conséquent, affectent les formes en rivière et l'écoulement. Les changements dans le temps de la géométrie planimétrique du segment deltaïque, particulièrement depuis 2004, témoignent de ces impacts au travers d'avulsions, formations de chenaux secondaires et de leur comblement. L'aggradation du lit peut affecter la migration du saumon en réduisant considérablement l'épaisseur de la colonne d'eau tout au long du parcours. L'avulsion et le changement de tracé du chenal principal ne semblent pas affecter la migration tant et aussi longtemps que le ou les nouveaux chenaux possèdent des caractéristiques favorables aux mouvements de cette espèce anadrome.

Enfin, Milner *et al.* (2012) soulignent la facilité des salmonidés adultes de migrer au sein du chenal principal dans les tronçons localisés dans la portion de l'exutoire en raison des chenaux plus profonds, stables et possédant des vitesses d'écoulement moindres. Ces conditions minimisent la dépense énergétique et encouragent le lien hydrologique entre les tronçons vers l'amont lorsque le chenal est dépourvu d'entraves importantes à la migration. De plus, les fosses sont

généralement plus nombreuses, plus rapprochées et plus profondes dans les tronçons soumis à des réajustements morphologiques causés par la présence de bois en rivière. Une grande quantité de fosses consécutives situées à proximité d'un embâcle a d'ailleurs été observée sur le terrain dans plusieurs tronçons présents dans le segment deltaïque (segment D). Cette relation peut être également observée par l'augmentation des irrégularités du lit le long du profil longitudinal lorsque le volume de bois mort cumulé commence à augmenter (Figure 22). Ces séquences de petites fosses couplées au faible dynamisme de l'écoulement ainsi qu'à l'absence d'embâcles majeurs dans le chenal principal assurent un lien hydrologique quasi constant tout au long du segment permettant au saumon de progresser vers l'amont tout au long de l'été. Ce lien hydrologique est aussi ponctué par plusieurs barrages de castor tout au long du segment.

ii. Influence des barrages de castor

La présence de castors dans l'embouchure de la rivière Port-Daniel semble en augmentation depuis les dernières décennies. Le fait de passer d'une dynamique divagante à un ou deux chenaux vers une dynamique estuarienne à multiples chenaux dans l'embouchure couplée à l'arrêt de l'activité agricole a favorisé la colonisation du secteur par le castor. En 2019, plus de seize barrages ont été répertoriés dans la portion estuarienne de la rivière Port-Daniel (Figure 26). Les hauteurs, mesurées à partir du lit en aval du barrage, varient entre 0,5m et 2,0m. La plupart des barrages sont localisés dans les chenaux secondaires du segment deltaïque, dont les barrages avec les hauteurs les plus élevées. Trois des barrages sont toutefois localisés dans le nouveau chenal principal au nord-ouest du segment, dont le plus haut qui atteint 1,0 m de hauteur a été construit à la jonction entre le chenal principal de la rivière Port-Daniel et le nouveau chenal principal dans le segment estuarien (Figure 26). Les principaux impacts négatifs sur la migration du saumon sont associés à l'effet de barrière migratoire potentielle qui limite la distribution amont des salmonidés vers les zones de la fraie (Mitchell et Cunjak, 2007 dans Kemp *et al.*, 2012) ainsi que le blocage complet de la migration lors des périodes d'étiage. Par conséquent, ces impacts sont davantage dépendant de la variation des conditions hydrologiques (p.ex. débits, vitesses d'écoulement, niveau d'eau) qu'à la présence de barrages. Il est important de mentionner que l'absence d'activités de montaison ou l'utilisation de sites anormaux de fraie n'ont pas été observées au fil du temps par les gestionnaires de la rivière Port-Daniel. Cela s'avère tout à fait normal considérant que seulement trois barrages ont été comptabilisés en 2019 dans le chenal principal dont un seul possède une hauteur d'environ 2,0 m à partir du lit. Malgré la valeur élevée,

ce barrage peut se faire complètement inonder lors des crues printanières, estivales et automnales (annexe 2 photo 10).

En général, la perception liée à la présence de barrages et de digues de castors est souvent négative en raison de l'effet de barrière potentiel pour la libre circulation des salmonidés. Toutefois, un recensement des écrits sur les effets du castor sur la faune ichthyenne montre que, sur un total de 51 articles, 78,4% des impacts négatifs répertoriés étaient de nature spéculative (Kemp *et al.*, 2012). D'autre part, un consensus à l'échelle mondiale provenant de la littérature scientifique montre que les impacts les plus communs des castors sur les salmonidés sont davantage positifs que négatifs. En effet, de nombreuses analyses quantitatives ont montré que les barrages favorisent la survie et la croissance des juvéniles, augmentant le nombre et la taille des individus (Kemp *et al.*, 2012; Lokteff *et al.*, 2013; Pollock *et al.*, 2014). La réintroduction du castor dans le but d'augmenter le nombre de barrages est aussi employée dans le monde à des fins de restauration de cours d'eau et d'habitats destinés à améliorer la qualité de l'habitat des salmonidés (Kemp *et al.*, 2012; Pollock *et al.*, 2012; Pollock *et al.*, 2014; Biron, 2017).

Enfin, l'association entre la présence de bois en rivière et de barrages de castor à la problématique de restriction du passage du poisson peut parfois être précipitée et spéculative (Kemp *et al.*, 2012). C'est pourquoi les processus derrière les services écosystémiques apportés par le bois en rivière et les castors nécessitent plus de connaissances et sont très peu valorisés (Boivin *et al.*, 2019; Wohl *et al.*, 2019). En ce qui a trait à la rivière Port-Daniel, les entraves potentielles à l'écoulement ainsi qu'à la migration du saumon sont concentrées dans le segment deltaïque. Or, le passage du saumon dans les estuaires est reconnu pour être naturellement plus complexe en raison des changements physiologiques et environnementaux que les individus expérimentent ainsi que par les changements de température et la chimie de l'eau causés par l'interaction entre les débits d'eau douce et le cycle des marées (Milner *et al.*, 2012). Ces interactions influencent le signal de montaison du saumon qui est majoritairement apporté par les températures fraîches de l'eau des rivières. Par conséquent, la fluctuation interannuelle dans le nombre de saumons observé n'est pas systématiquement liée à la présence de castors, à l'apport de bois mort, au volume présent ou la croissance d'un embâcle dans la portion estuarienne. Néanmoins, il est possible d'effectuer des suivis et des interventions mineures afin de répondre aux objectifs de gestion et de conservation de la ressource, ou pour une question de sécurité civile.

b. Interventions et recommandations proposées

i. Démantèlement et entretien des embâcles

L'analyse des données terrain et historique montre que l'embâcle principal dans l'embouchure de la rivière Port-Daniel n'est plus problématique actuellement au niveau de la montaison et dévalaison des salmonidés. Le chenal central est maintenant un chenal abandonné où une plaine alluviale végétalisée est en train de se reconstruire depuis les dernières années (Figure 29). Ainsi, le démantèlement de l'embâcle principal qui s'est construit majoritairement depuis 2010-2011 n'est pas nécessaire, car la majorité du débit a été dévié vers le chenal secondaire à l'ouest. Ce dernier est donc devenu le chenal principal et se connecte à la rivière Port-Daniel en amont, soit dans la portion nord-ouest du delta. De plus, en raison de sa configuration particulière, le secteur en amont de l'ancien chenal agit comme une zone permettant d'accumuler les bois en rivière provenant de l'amont lors des prochaines crues. Cela minimise ainsi le risque à court terme d'accumulation de bois dans le nouveau chenal principal, d'autant plus l'angle de 90 degrés entre le chenal unique en amont de l'estuaire et le nouveau chenal principal. Ainsi, ce secteur en amont de l'ancien chenal principal agit comme trappe naturelle pour les futurs bois morts provenant de l'amont. Un suivi interannuel (terrain ou par drone par exemple) est recommandé afin de suivre l'évolution du volume de bois dans cette trappe, la croissance d'embâcles existants, la formation de nouveaux embâcles et les avulsions potentielles dans l'embouchure.

Dans l'optique où des interventions sont privilégiées par la SEPAQ, il est recommandé d'effectuer un suivi dans le nouveau chenal formé dans la portion nord-ouest afin de suivre l'évolution du chenal et des embâcles. Ce suivi permettra d'identifier si des travaux d'égagement dans le nouveau chenal principal sont nécessaires afin d'éviter la formation d'embâcles complets pouvant être problématiques pour la libre circulation des salmonidés. Pour l'instant, les données terrain de 2019 montrent que le chenal principal actuel n'est pas obstrué par des embâcles complets et qu'aucun impact potentiel et majeur n'est décelé actuellement. Il est toutefois recommandé d'effectuer un suivi interannuel de ce nouveau chenal (terrain ou par drone par exemple) afin de suivre l'évolution hydrogéomorphologique et de la dynamique des BM. Selon les suivis, des interventions d'égagement, de stabilisation des embâcles ou de retrait de quelques embâcles pourront être nécessaires, tout en minimisant les effets potentiels sur l'habitat et l'hydrogéomorphologie (En comparaison pour une période de temps similaire sur la rivière Mont-Louis (1963-2014), un apport de 24 000m³ de bois s'est ajouté au système fluvial, ce qui

correspond à une production de +- 2400 m³ de bois par kilomètre de rivière (Maltais, 2019). La situation est relativement similaire sur la Rivière Saint-Jean avec une production totale de 41 317 m³ pour la période 1963-2013, ce qui représente un volume de production d'environ 825m³ par kilomètre de rivière (Boivin *et al.*, 2017a). Ainsi, les volumes produits et accumulés dans le système de Port-Daniel montrent que la dynamique du bois en rivière est plus faible que sur d'autres systèmes de la Gaspésie, diminuant les risques d'embâcles majeurs. De plus, l'embouchure de la rivière semble être en équilibre, ayant des processus d'avulsion régulièrement et rapidement suite à une perturbation (p.ex. embâcle de 2010-2011, changement de tracé du chenal principal) permettant de conserver un chenal principal sans embâcle majeur. Un suivi interannuel des volumes en bois et un suivi cartographique des taux d'érosion permettraient d'établir les quantités de bois présents dans le système et la production de nouveaux bois morts durant chaque crue et d'anticiper les risques futurs. Cependant, à la lumière des résultats de l'étude réalisée en 2019, aucune intervention n'est requise dans le corridor fluvial de la rivière Port-Daniel, mise à part la mise en place d'un suivi interannuel.

Tableau 5). Le guide sur la dynamique du bois en rivière présente les différents types d'interventions possibles selon l'évolution de la dynamique dans le nouveau chenal et un outil d'aide à la décision (Boivin *et al.*, 2019).



Figure 29. Vue oblique de la partie amont de l'embouchure de la rivière Port-Daniel

i. Suivi de la dynamique du bois en rivière

À l'échelle du corridor fluvial de la rivière Port-Daniel, le volume en bois disponible pour les prochaines crues est de +/- 1514 m³. Cela représente un volume de bois de +/- 108 m³ par kilomètre de rivière et une densité maximale de +/- 300 m³/km dans la portion aval. En comparaison, la rivière Saint-Jean (Gaspé) a un volume de bois moyen de 183m³ par kilomètre de rivière et une densité maximale de 1403 m³/km dans la portion aval de 9 kilomètres (Boivin *et al.*, 2017a). Un second exemple sur la rivière Mont-Louis (Haute Gaspésie) où le volume moyen est de 180m³ par kilomètre de rivière et avec une densité maximale dans sa portion médiane de 3550 m³ par kilomètre de rivière (Maltais, 2019). Ainsi, les volumes en bois dans la rivière Port-Daniel sont relativement faibles en comparaison avec d'autres systèmes en Gaspésie, ce qui diminue les risques de formation d'un nouvel embâcle majeur dans l'embouchure. Au niveau de la production en bois, la production totale entre 1964 et 2019 représente +/- 7740 m³ de bois, ce qui représente une production d'environ 553m³ par kilomètre de rivière.

En comparaison pour une période de temps similaire sur la rivière Mont-Louis (1963-2014), un apport de 24 000m³ de bois s'est ajouté au système fluvial, ce qui correspond à une production de +/- 2400 m³ de bois par kilomètre de rivière (Maltais, 2019). La situation est relativement similaire sur la Rivière Saint-Jean avec une production totale de 41 317 m³ pour la période 1963-2013, ce qui représente un volume de production d'environ 825m³ par kilomètre de rivière (Boivin *et al.*, 2017a). Ainsi, les volumes produits et accumulés dans le système de Port-Daniel montrent que la dynamique du bois en rivière est plus faible que sur d'autres systèmes de la Gaspésie, diminuant les risques d'embâcles majeurs. De plus, l'embouchure de la rivière semble être en équilibre, ayant des processus d'avulsion régulièrement et rapidement suite à une perturbation (p.ex. embâcle de 2010-2011, changement de tracé du chenal principal) permettant de conserver un chenal principal sans embâcle majeur. Un suivi interannuel des volumes en bois et un suivi cartographique des taux d'érosion permettraient d'établir les quantités de bois présents dans le système et la production de nouveaux bois morts durant chaque crue et d'anticiper les risques futurs. Cependant, à la lumière des résultats de l'étude réalisée en 2019, aucune intervention n'est requise dans le corridor fluvial de la rivière Port-Daniel, mise à part la mise en place d'un suivi interannuel.

Tableau 5. Interventions possibles pour une gestion durable des bois en rivière (Boivin *et al.*, 2019)

Actions	Implications
Aucune action	- Maintient des bénéfices écosystémiques - Aucun frais
Suivi	- Maintient des bénéfices écosystémiques - Facilite le suivi de l'évolutions à long terme - Approprié pour les secteurs à faible risque - Peu de frais
Stabilisation et réintroduction	- Maintient des bénéfices écosystémiques - Réduit les risques associés à la mobilité du
Sensibilisation et signalisation	- Maintient des bénéfices écosystémiques - Réduit les risques chez les usagers - Renseigne sur les bénéfices du bois mort
Élagage	- Réduit les bénéfices écosystémiques - Réduit le potentiel d'accumulation du bois en transport
Déplacement ou retrait du bois	- Réduit les bénéfices écosystémiques - Réduit les risques associés aux infrastructure et à l'usage - Devient rapidement couteux

ii. Suivi et étude sur la présence des barrages de castor

À la lumière des impacts bénéfiques sur la morphodynamique des cours d'eau et les rôles écologiques qu'ils apportent, les castors sont des atouts dans les environnements fluviaux. Malgré la construction de barrages, ces aménagements ne sont généralement pas assez imposants pour être considérés comme des barrières infranchissables pour le Saumon de l'Atlantique. Les effets de ces obstacles sur la migration peuvent être uniquement observés lors des périodes d'étiages sévères, où les saumons devront attendre la prochaine crue afin de les franchir. Cela pourrait devenir problématique en cas de période d'étiage prolongée. C'est pourquoi qu'une analyse plus approfondie sur l'impact des barrages lors de différents niveaux d'eau ou de débits, ainsi que le lien avec les marées serait nécessaire pour quantifier l'impact réel des barrages de castor sur la libre circulation et établir les scénarios d'interventions potentielles.

Enfin, la littérature scientifique et les données de terrain de 2019 suggèrent fortement de conserver les barrages de castors dans l'embouchure de la rivière Port-Daniel, car les avantages écosystémiques de la présence du castor surpassent les conséquences qu'ils engendrent sur le saumon. De plus, le démantèlement nécessiterait des efforts supplémentaires et causerait des

impacts négatifs sur la qualité de l'eau et les habitats pendant les interventions (p.ex. relâchement d'une grande quantité de sédiments, augmentation de la turbidité, perturbation de l'écosystème). Cependant, dans l'optique où les périodes d'étiage peuvent devenir problématiques pour la libre circulation, il est possible d'aménager des passes migratoires favorisant la montaison et dévalaison des salmonidés (Figure 30), tout en conservant les avantages écosystémiques des barrages de castors.



**Figure 30. Exemple de passe migratoire au niveau d'un barrage de castor (Beaver Institute-
<https://www.beaverinstitute.org/>)**

iii. Acquisition de données sur la rivière Port-Daniel

Une des recommandations les plus importantes concerne le manque de données sur l'hydrologie et les taux de montaison annuels sur la rivière Port-Daniel. En premier lieu, Il serait pertinent d'installer une station de mesures de débits sur la rivière Port-Daniel. Une station de mesure avec des senseurs de pression (de type hobo par exemple) pourrait être une alternative à l'absence de station du Centre d'Expertise Hydrique du Québec (CEHQ). Le manque de données historiques limite l'analyse de l'évolution du système dans le temps. Par exemple, il pourrait être intéressant

de comparer la variation des débits et de vérifier s'ils ont augmenté dans la rivière Port-Daniel, car les données sur l'érosion des berges montrent une augmentation significative à partir de la période 2001-2004 jusqu'à aujourd'hui. Cette augmentation majeure en termes d'érosion et, par le fait même, d'apport en bois dans le cours d'eau apporte certaines questions concernant la trajectoire géomorphologique future qui demeurent difficiles à répondre sans suivi interannuel. L'installation d'une station permettrait ainsi de suivre les débits pour les prochaines années en plus de fournir l'information aux utilisateurs de la rivière. La réalisation d'un suivi interannuel couplée aux analyses de données de débits permettrait d'évaluer plus facilement la trajectoire future de la rivière Port-Daniel.

L'analyse de la sévérité des étiages serait pertinente dans le contexte où le castor colonise davantage l'embouchure de la rivière. Dans le cadre d'un futur suivi, il serait nécessaire de caractériser les hauteurs d'eau dans l'embouchure, en lien avec les cycles de marées, la morphologie du chenal et la présence du castor et de sa relation sur les conditions hydrologiques en aval. Cela permettrait d'établir des seuils problématiques (s'il y a lieu) pour la libre circulation du saumon. Les résultats de ses analyses pourraient également déterminer quels barrages peuvent être problématiques durant les étiages en fonction des débits et identifier les barrages où l'installation de passes migratoires serait nécessaire.

Finalement, un décompte complet du saumon réalisé en apnée (ou autres méthodes) serait pertinent durant les périodes de montaison dans l'embouchure afin d'obtenir une série de données dans le temps. Cela permettrait d'analyser si l'évolution des embâcles et barrages de castor ont un impact sur le comportement migratoire (p.ex. synchronisme, date de montaison, temps de résidence, blocage partiel ou complet) et sur la population en général de la rivière Port-Daniel. Ces données permettraient de savoir si davantage d'interventions sont nécessaires (p.ex. élagage, passes migratoires, démantèlement de barrages, etc.) au niveau de l'embouchure.

Résumé de la discussion :

Interactions entre la dynamique fluviale, du bois mort et la trajectoire géomorphologique

- L'augmentation progressive du volume et de la quantité d'embâcles s'explique par la transition graduelle dans la structure de la vallée passant d'un segment généralement encaissé et contraint dans le roc à celui alluvial permettant la migration latérale (et l'érosion);
- Les crues observées en 2004, 2008, 2010, 2011 et 2017 ont provoqué un recouplement de méandre et la formation d'un nouveau chenal, d'importants taux de recul des berges ainsi que l'abandon et la formation de chenaux secondaires;
- Les crues entre 2004 et 2010, dont la crue majeure de 2008, ont initié la formation de l'embâcle majeur dans le segment deltaïque. La formation de cet embâcle concorde avec les superficies considérables érodées et les volumes de bois cumulés pendant cette période;
- Les crues successives ont contribué à l'augmentation du volume ainsi qu'à la densification de cet embâcle, favorisant ainsi la réduction des vitesses d'écoulement et la sédimentation;
- Ces modifications des conditions hydrauliques favorisent le captage de sédiments, l'aggradation du lit et la colonisation de celui par la végétation. Ce processus d'accumulation possède un effet stabilisateur et fait partie intégrante du cycle de reconstruction naturelle de la plaine alluviale;
- L'occlusion du chenal par la présence d'embâcles a favorisé la formation de chenaux secondaires. Cela a résulté en une augmentation du nombre de chenaux secondaires dans le delta entre 2004 à 2016. La sédimentation accrue provoquée par la présence de bois en rivière a provoqué une diminution du nombre de chenaux entre 2016 et 2019;

Migration anadrome du Saumon de l'Atlantique

- Les bénéfices de la présence de bois en rivière sur les salmonidés et la faune ichtyenne, par son effet sur la création de zones profondes et de faibles courants (refuge thermique et hydrologique), l'augmentation de la diversité, la quantité et la qualité des habitats, sont plus nombreux que les impacts négatifs sur la migration anadrome;
- Aucun embâcle pouvant nuire à la montaison du saumon n'a été observé dans le nouveau chenal principal. La présence de barrages de faible hauteur a été observée. Ces derniers, couplés à la succession de fosses formée par la dynamique du bois en rivière, favorisent la présence d'un lien hydrologique tout au long du chenal et ce, même pendant les périodes d'étiage;
- Les principaux impacts négatifs des barrages sur la migration du saumon sont associés à l'effet de barrière migratoire potentielle qui limite la distribution amont des salmonidés vers les zones de la fraie et le blocage complet de la migration lors des périodes d'étiage prolongées et sévères;

- Un recensement des écrits sur les effets du castor sur la faune ichthyenne montre que, 78,4% des impacts négatifs répertoriés de la littérature étaient de nature spéculative. La plupart des études montrent que les impacts les plus communs des castors sur les salmonidés sont davantage positifs que négatifs;

Interventions et recommandations proposées

- Le démantèlement de l'embâcle majeur présent dans le segment deltaïque n'est pas nécessaire en raison de la nouvelle configuration du chenal principal;
- À la lumière des résultats de l'étude réalisée en 2019, aucune intervention n'est requise actuellement dans le corridor fluvial de la rivière Port-Daniel. Néanmoins, si des interventions sont privilégiées, il est fortement suggéré de réaliser un suivi afin de suivre l'évolution du chenal, des embâcles de bois, des barrages et d'évaluer la libre circulation du saumon;
- En raison de la présence de castor dans le segment deltaïque, il est fortement suggéré de conserver les barrages, car les avantages écosystémiques de la présence du castor surpassent les conséquences qu'ils engendrent sur le saumon. De plus, le démantèlement nécessiterait des efforts importants et causerait des impacts négatifs sur la qualité de l'eau et des habitats pendant les interventions (p.ex. relâchement d'une grande quantité de sédiments, augmentation de la turbidité, perturbation de l'écosystème);
- Dans l'optique où les périodes d'étiage peuvent devenir problématiques pour la libre circulation, il est possible d'aménager des passes migratoires favorisant la montaison et dévalaison des salmonidés, tout en conservant les avantages écosystémiques des barrages de castors;
- L'acquisition de données sur la rivière Port-Daniel est fortement recommandée afin de fournir davantage d'information pour aider à la gestion et la prise de décision (p.ex. intervention sur les barrages, embâcles, etc.). Les données pertinentes à recueillir concernent principalement l'hydrologie (station de débit, analyse de la sévérité des étiages) et le dénombrement et le suivi de population de saumon.

VI CONCLUSION

Ce rapport est la conclusion d'un projet de recherche en partenariat avec la SEPAQ concernant la formation d'embâcle dans l'embouchure de la rivière Port-Daniel. Le projet s'est étalé sur une période de 8 mois (juin 2019 à février 2020) incluant plus d'un mois de terrain (juillet et août 2019). Après le cas relativement unique des embâcles de bois majeur de la Rivière-Saint-Jean (Gaspé), les embâcles dans l'embouchure de la rivière Port-Daniel révèlent un caractère particulier lié à l'évolution géomorphologique des chenaux en aval, passant d'un style fluvial à un ou deux chenaux à un style fluvial anabranche (multiples chenaux). Il est aussi intéressant de comparer les volumes de bois dans ce système en comparaison avec d'autres études réalisées depuis 2010. Il est ainsi possible de situer la dynamique du bois en rivière et la dynamique fluviale en comparaison avec d'autres rivières de la Gaspésie.

Pour conclure, les données et analyses de ce projet permettent de répondre aux objectifs de l'entente entre l'UQAC et la SEPAQ et d'expliquer les dynamiques fluviales et du bois en rivière pour la Port-Daniel depuis 1964. Les résultats ont permis d'identifier cinq éléments à prendre en compte pour les gestionnaires de la rivière Port-Daniel afin de pérenniser la ressource saumon.

1) Les analyses et le terrain ont montré que l'embâcle problématique depuis 2010-2011 n'est plus dans un chenal actif. Ainsi, une nouvelle plaine alluviale est en train de se reconstruire par-dessus l'embâcle de bois majeur et la zone plus large en amont de cet ancien chenal agit comme trappe naturelle pour les bois provenant du bassin versant, diminuant les risques de formation d'un nouvel embâcle majeur dans l'embouchure. Un suivi et un retrait potentiel de ces nouveaux bois accumulés dans cette trappe naturelle pourraient être envisagés si le volume de bois augmente considérablement dans les prochaines années. Au niveau des chenaux, la dynamique naturelle du milieu estuarien a permis la création d'un nouveau chenal principal et de plusieurs chenaux secondaires depuis le milieu des années 2000. Il apparaît que l'embâcle majeur n'est plus une problématique au niveau de la restriction pour la migration des salmonidés et contribue d'ailleurs aux processus de reconstruction de la plaine alluviale dans ce tronçon. Il serait donc inutile de démanteler un embâcle qui se retrouve dans un chenal abandonné depuis 2016.

2) Les embâcles de bois actuellement dans le chenal principal de l'embouchure (portion nord-ouest) ne semblent pas limiter la libre circulation des salmonidés, car il s'agit d'embâcles partiels favorisant la diversité des formes (fosses, seuil, migration, zones d'ombre...). Le

démantèlement de ces embâcles entrainerait plus d'impacts négatifs que positifs pour l'habitat du saumon. De plus, les volumes de bois actuellement dans le bassin versant en amont représentent un volume relativement petit comparativement aux volumes accumulés entre 2004 et 2011 dans l'embouchure, ce qui limite le risque de formation d'un nouvel embâcle majeur.

3) Les barrages de castor semblent être un nouvel élément dans la dynamique de l'embouchure de la rivière Port-Daniel où plus de seize barrages ont été répertoriés en 2019, dont trois sont localisés dans le nouveau chenal principal de la rivière Port-Daniel. La littérature scientifique suggère fortement de conserver les barrages, car les avantages écosystémiques de la présence du castor surpassent les conséquences qu'ils engendrent sur les salmonidés. De plus, plusieurs recherches préconisent la réintroduction du castor dans les projets de restauration de cours d'eau pour la création d'habitats pour salmonidés. Les seules questions soulevées dans la littérature concernent la libre circulation durant les fortes périodes d'étiages. Il serait donc nécessaire d'effectuer un suivi ou une étude sur l'impact réel des barrages de castors durant des périodes de niveaux d'eau différents lors de la montaison et dévalaison du saumon. Tel que présenté dans les scénarios d'intervention, des passes migratoires adaptées à la présence de barrages et digues permettraient d'assurer la libre circulation des salmonidés, peu importe les niveaux d'eau.

4) Au niveau de l'évolution historique dans le bassin versant de la rivière Port-Daniel, il en ressort que la production en bois et son transport dans l'embouchure semblent en augmentation depuis le milieu des années 2000. Plusieurs crues importantes se sont succédé (2004, 2008, 2010, 2011 et 2017), engendrant des épisodes d'érosion des berges plus importantes et permettant une avulsion majeure dans la portion en aval du camping. Cette érosion et avulsion a permis d'ajouter une importante quantité de bois dans le système permettant la croissance de l'embâcle à l'embouchure. Cependant, les volumes (par kilomètre de rivière) de bois produits, accumulés et exportés de la rivière Port-Daniel sont plus faibles que sur la rivière Saint-Jean (Gaspé) et Mont-Louis (Haute-Gaspésie). Ainsi, la dynamique fluviale et du bois en rivière semblent plus faibles dans la Port-Daniel, diminuant une fois de plus les risques de formation d'embâcles majeurs. Cependant, un suivi est nécessaire afin de s'assurer que les dynamiques ne sont pas en augmentation. Ainsi, les analyses montrent que les taux d'érosion ont été relativement faibles entre 1964 et 2001, en forte augmentation entre 2001 et 2013 et vers un niveau plus faible depuis 2013. Ainsi, il est nécessaire de suivre la trajectoire de la rivière Port-Daniel afin de confirmer

cette diminution de la dynamique fluviale et du bois en rivière, mais en prenant compte qu'une crue majeure dans les prochaines années peut changer cette tendance à la baisse.

5) Finalement, des observations sur le terrain ont permis de déceler une dynamique glacielle importante (plusieurs cicatrices de glace sur les arbres) sur la rivière Port-Daniel, ce qui peut engendrer un transport de bois plus élevé. Des travaux sur la rivière Saint-Jean (Gaspé) ont montré que les années avec débâcles de glace mécanique engendrent le transport d'un volume de bois plus important que les années sans débâcles des glaces (Boivin *et al.* 2017b; Boivin *et al.*, 2018). Ainsi, il serait intéressant d'analyser cette dynamique sur la rivière Port-Daniel afin de quantifier le rôle des glaces dans la mise en mouvement des bois vers l'embouchure de la rivière. La méthode la plus efficace pour suivre le transport de bois se réalise par caméra vidéo installée en bordure de cours d'eau (Boivin *et al.*, 2017b).

Ainsi, le bois en rivière est naturel et nécessaire au maintien des services écosystémiques qui en découlent. Le cas de la rivière Port-Daniel montre qu'un démantèlement n'est pas nécessaire à l'heure actuelle, mais qu'un suivi interannuel est fortement recommandé afin de suivre la trajectoire des dynamiques (fluviales et bois en rivière). De plus, les impacts des barrages de castors devraient être analysés afin de quantifier les impacts réels sur la libre circulation durant les périodes d'étiage. Des passes migratoires devraient être préconisées dans le contexte où les barrages seraient problématiques et il est déconseillé d'entreprendre le démantèlement de ces structures. Finalement, tant au niveau scientifique que de gestion il serait pertinent d'étudier l'impact des castors, car peu d'études ont couvert la relation entre l'activité du castor dans les rivières du Québec et le Saumon de l'Atlantique et de son impact sur les différents stades du cycle de vie de cette espèce anadrome.

VII Bibliographie

Abbe, T.B. et Montgomery, D.R. 1996. Large woody debris jams, channel hydraulics and habitat formation in large rivers, *Regulated Rivers: Research and Management*, vol. 12, p.201-221

Abbe, T.B. et Montgomery, D.R. 2003. Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin, Washington, *Geomorphology*, vol. 51, p. 81-107.

Bernot, V., Calland, V., Bravard, J.P. et Foussadier, R. 1996. La sectorisation longitudinale du Vidourle (Gard-Herault) : une méthode appliquée à la gestion environnementale de l'espace fluvial méditerranéen, *Revue de Géographie de Lyon*, vol. 4, p. 323-339

Boivin, M., Buffin-Bélanger, T. et Piégay, H. 2015. The raft of the Saint-Jean River, Gaspé (Québec, Canada): A dynamic feature trapping most of the wood transported from the catchment, *Geomorphology*, vol. 231, p. 270-280.

Boivin, M., Buffin-Bélanger, T. et Piégay, H. 2017a. Estimation of large wood budget in a watershed and river corridor at interdecadal to interannual scales in a cold-temperate fluvial system, *Earth Surface Processes and Landform*, vol. 42, no 13, 2199-2213 p.

Boivin M, Buffin-Bélanger T, Piégay H. 2017b. Interannual kinetics (2010-2013) of large wood in a river corridor exposed to a low recurrence-flood and to fluvial ice dynamics. *Geomorphology*. 279: 59-73.

Boivin M., Buffin-Bélanger T., Arsenault D. 2018. Using tree-rings to determine large wood residence time and transport pulses in a gravel-bed river. *RiverFlow book 2018*. doi.org/10.1051/e3sconf/20184002008

Boivin M., Maltais M., et Buffin-Bélanger, T. 2019. Guide d'analyse de la dynamique du bois en rivière. Guide scientifique présenté au *Conseil de l'eau du Nord de la Gaspésie et à la Fondation de la Faune du Québec*. 97 p. + annexes.

Brett J.R. 1971. Energetic responses of salmon to temperature. *American Zoologist*. Vol. 11, p.99– 113.

Brierley, G.J. et Fryirs, K.A. 2005. *Geomorphology and River Management: Application of the River Styles Framework*, Oxford, *Wiley-Blackwell*, 416 p.

Brierley, GJ, Fryirs, KA, Boulton, A, Cullum, C. 2008. Working with change: the importance of evolutionary perspectives in framing the trajectory of river adjustment. *In River futures. An integrative scientific approach to river repair*, Brierley GJ, Fryirs KA (eds). Island Press: Washington; 65–84.

Chin, A., Daniels, M.,D., Urban, M.,A., Piégay, H., Gregory, K.,J., Bigler, W., Butt, A.,Z., Grable, J.,L., Gregory, S.,V., Lafrenz, M., Laurencio, L.,R., Wohl, E. 2008. Perceptions of wood in rivers and challenges for stream restoration in the United States. *Environmental Management*, vol. 41, p. 893 – 903.

Chin, A., Laurencio, L.R., Daniels, M.D., Wohl, E., Urban, M.A., Boyer, K. L., Butt, A., Piegay, H., Gregory, K.J. 2014. The significance of perceptions and feedbacks for effectively managing wood in rivers. *River Research and Applications*, vol. 30, p. 98–111.

Church, M. 2006. Bed material Transport and the Morphology of Alluvial River Channels, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 34, p. 325-354.

Clark, C., P. Roni, and S. Burgess. 2019. Response of juvenile salmonids to large wood placement in Columbia River tributaries. *Hydrobiologia*, vol. 842, p. 173–190.

Collins, B.D., Montgomery, D.R., Fetherston, K.L., Abbe, T.P. 2012. The floodplain large-wood cycle hypothesis: A mechanism for the physical and biotic structuring of temperate forested alluvial valleys in the North Pacific coastal ecoregion, *Geomorphology*, vol. 139-140, p. 460-470.

Cramer, M.L. 2012. Stream Habitat Restoration Guidelines, Co-publié avec Washington Departments of Fish and Wildlife, Natural Resources, Transportation and Ecology, Washington State Recreation and Conservation Office, Pudget Sound Partnership, and the U.S. *Fish and Wildlife Service*, Olympia, Washington, 844 p.

Demers, S. et Buffin-Bélanger, T. 2011. Une méthode illustrée pour la sectorisation morphodynamique de la rivière Neigette (Québec). *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, vol. 55, no 3, p. 318-333.

Dodd, J.A., Newton, M. et Adam, E.C. 2016. The effect of natural flood management in-stream wood placements on fish movement in Scotland. *Scottish Centre for Ecology and the Natural Environment (SCENE)*, University of Glasgow, 38 p.

Dufour, S. and Piégay, H. 2009. From the myth of a lost paradise to targeted river restoration: Forget natural references and focus on human benefits, *River Research and Applications*, vol. 25, 568-581

Francis, R.A., Tibaldeschi, P. et McDougall, L. 2008. Fluvially-deposited large wood and riparian plant diversity, *Wetland Ecology and Management*. Vol. 16, no 5, p. 371-382.

Gurnell, A.M., and Sweet, R. 1998. The distribution of large woody debris accumulations and pools in relation to woodland stream management in a small, low-gradient stream. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 2: 1101-1121.

Harmon, M.E., Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory, S.V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S.P., Aumen, N.G., Sedell, J.R., Lienkaemper, G.W., Cromack, K. Jr. et Cummins, K.W. 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems, *Advances in Ecological Research*, vol. 15, p. 133-302.

Hodgson, Earl W. 1927. *Salmon Fishing*. London: Black, 314pp.

Kemp, P.S., Worthington, T.A., Langford, T.E.L., Tree, A.R.J., Gaywood, M.J. (2012). Qualitative and quantitative effects of reintroduced beavers on stream fish. *Fish and Fisheries*, 13(2), 158-181.

Leeder, M.R. 1983. On the interaction between turbulent flow, sediment transport and bedform mechanics in channelized flows. Modern and ancient fluvial systems, *Special Publication of the International Association of Sedimentologists*. J. D. C. a. J. Lewin. Oxford: 5-18.

Ledard, M., Gross, F., Haury, J., Lafontaine, L., Hubaud, M.-O., Vigneron, T., Dubos, C., Labat, J.-J., Aubry, M., Nioche-Seigneuret, F., Vienne et L., Craipeau, F. 2001. *Restauration et entretien des cours d'eau en Bretagne*, Guide technique, Rennes, 107 p.

Lokteff, R. L., B. B. Roper, and J. M. Wheaton. 2013. Do beaver dams impede the movement of Trout? *Transactions of the American Fisheries Society*, vol. 142: p. 1114–1125.

Maltais, M. 2019. Évolution spatiale et temporelle de la dynamique du bois mort en rivière, Mont-Louis, Gaspé. Mémoire de maîtrise en géographie. Université du Québec à Rimouski. 190 p.

Malavoi J.R. et Bravard J.P., 2010. *Éléments d'hydromorphologie fluviale*, Onema. 224 p.

Maleki, S., M., Riggers, B.L.K., Murray, M. 1999. The Oregon Plan for Salmon and Watersheds: *Watershed Restoration Inventory 1999*. Institute for Natural Resources, Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA.

Ministère de l'Environnement et Lutte contre les Changements Climatiques (MELCC). 2019. Données climatiques de Climat Québec, station no. 7056120 (http://www.environnement.gouv.qc.ca/climat/donnees/sommaire.asp?cle=7056120&date_selction=2019-06-04) Page consultée le 05-06-2019.

Milner N.J., Solomon D.J. & Smith G.W. (2012b) The role of river flow in the migration of adult Atlantic salmon, *Salmo salar*, through estuaries and rivers. *Fisheries Management and Ecology* 19, 537–547.

Mitchell, S.C. and Cunjak, R.A. 2007. Stream flow, salmon and beaver dams: roles in the structuring of stream fish communities within an anadromous salmon dominated stream. *Journal of Animal Ecology*, vol. 76, p. 1062– 1074.

Nagayama, S., Nakamura, F., Kawaguchi, Y. et Nakano, D. 2012. Effects of configuration of instream wood on autumn and winter habitat use by fish in a large remeandering reach, *Hydrobiologia*, vol. 680, p. 159-170.

Opperman, J., Merenlender, A., Lewis, D., 2006. Maintaining wood in streams: a vital action for fish conservation. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 8157OPSW (Oregon Plan for Salmon and Watersheds), 1999. *Oregon Aquatic Habitat: Restoration and Enhancement Guide*: 103 p.

Pollock, M.M., Beechie, T.J., Wheaton, J.M., Jordan, C.E., Bouwes, N., Weber, N., Volk, C. 2014. Using beaver dams to restore incised stream ecosystems. *Bioscience*, vol. 64, p. 279-290.

Pollock, M., Wheaton, J., Bouwes, N., Vol, C., Weber, N. et Jordan, C. 2012. Working with beaver to restore salmon habitat in the Bridge Creek intensively monitored watershed. NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC-120, US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration. 547 p.

Roni P, Beechie T, Pess G, Hanson K. 2015. Wood placement in river restoration: fact, fiction, and future direction. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 72, p.466-478.

Schlosser I.J. 1991. Stream fish ecology: a landscape perspective. *BioScience*, vol. 41, p.704–712.

Schmitt, L., Maire, G. et Humbert, J. 2000. Typologie hydrogéomorphologique des cours d'eau : vers un modèle adapté à la gestion du milieu physique des rivières du versant sud-occidental du fossé Rhénan, *GéoCarrefour*, vol. 75, p. 347-363

Schumm, S. A. 1977. *The fluvial system*, New York, USA, Wiley.

Shields, F.D. Jr. et Smith, R.H. 1992. Effects of a large woody debris removal on physical characteristics of a sand-bed river, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystem*, vol. 2, p. 145-163.

Tetzlaff, D., Gibbins, C., Bacon, P. J., Youngson, A. F. & Soulsby, C. 2008. Influence of hydrological regimes on the pre-spawning entry of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) into an upland river. *River Research and Applications* vol. 24, p. 528–542.

Thévenet, A., Citterio, A., Piégay, H. 1998. A new methodology for the assessment of large woody debris accumulations on highly modified rivers (Example of two French piedmont rivers). *Regulated Rivers: Research & Management* 14: 467–483. Wohl, E. 2013. *Floodplain and wood*, *Earth-Sciences Reviews*, vol. 123, p. 194-212.

Wohl, E., Cenderelli, D.A., Dwire, K.A., Ryan-Burkett, S.E., Young, M.K., Fausch, K.D. 2010. Large in-stream wood studies: a call for common metrics. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 35, p. 618–625.

Wohl, E. 2013. Floodplain and wood, *Earth-Sciences Reviews*, vol. 123, p.194-212.

Wohl E, Kramer N, Ruiz-Villanueva V, Scott DN, Comiti F, Gurnell AM, Piegay H, Lininger KB, Jaeger KL, Walters DM, Fausch KD. 2019. *The natural wood regime in rivers*. *BioScience* vol. 69, p. 259-273.

Wolman, M.G. 1954. A method of sampling coarse river-bed material. *Transactions American Geophysical Union*. Volume 35. Number 6. P, p. 951-956.

Ziliani, L., and N. Surian 2012, Evolutionary trajectory of channel morphology and controlling factors in a large gravel-bed river, *Geomorphology*, vol. 173, p. 104–117.

Annexes

Annexe 1 : Glossaire hydrogéomorphologique

Aggradation du lit :

Élévation graduelle ou progressive du lit d'un cours d'eau par accumulation de sédiments.

Amont :

Partie d'un cours d'eau comprise entre un lieu déterminé et sa source.

Anastomosé (anabranche) :

Se dit d'un ensemble de chenaux qui s'entrecroisent dans un large lit majeur, ou un delta, bien pourvu en défluent de toute sorte et de bras séparés par des hauts fonds. Le terme, emprunté au langage médical, n'est utilisé en hydrologie que sous forme d'adjectif : rivière anastomosée (Malavoi et Bravard, 2010).

Aval :

Partie d'un cours d'eau comprise entre un lieu déterminé et son embouchure.

Bassin versant hydrographique

Le bassin versant est une unité géographique naturelle recueillant, à travers le réseau hydrographique, les eaux qui y ruissellent. Il correspond à la surface d'alimentation d'un cours d'eau. Le bassin versant est délimité par la ligne de partage des eaux, c'est-à-dire la ligne de crête de part et d'autre de laquelle l'eau de pluie ruisselle. Les eaux d'un même bassin versant alimentent un exutoire commun (cours d'eau, lac, mer, océan). Dans un bassin versant, il y a continuité : - longitudinale, de l'amont vers l'aval (ruisseaux, rivières, fleuves) ; - latérale, des crêtes vers le fond de la vallée ; - verticale, des eaux superficielles vers des eaux souterraines et vice versa. (Malavoi et Bravard, 2010).

Débit liquide

Le débit liquide correspond au volume d'eau qui traverse une section transversale d'un cours d'eau par unité de temps. Les débits des cours d'eau sont exprimés en m³/s avec trois chiffres significatifs (ex : 1,92 m³/s, 19,2 m³/s, 192 m³/s), ou pour les petits cours d'eau, en l/s. (Malavoi et Bravard, 2010).

Débit plein bord (niveau plein bord)

Le débit plein bord correspond au volume d'eau pouvant s'écouler au sein du chenal, avant que des débordements se produisent. Le débit plein bord est associé à un niveau plein bord. Il est atteint lors de crues de récurrence 1,5 à 2 ans. Il correspond souvent à la limite de la végétation sur les berges. (Boivin *et al.*, 2019)

Dynamique hydrosédimentaire

Flux sédimentaires et d'énergie qui conditionnent l'état d'un budget sédimentaire et de l'évolution d'un système. Fait référence aux forces en action (débit, vitesses d'écoulement) sur la dynamique sédimentaire d'un système. (Office français de la biodiversité, 2012)

État d'équilibre

En géomorphologie fluviale, la notion d'équilibre est fondamentale. Les cours d'eau sont des objets dynamiques qui évoluent dans l'espace et dans le temps suivant des processus dominants (par exemple, la migration latérale, l'incision ou l'exhaussement du lit) dont les moteurs (débits liquide et solide, niveau de base) et les résistances (ripisylves, granulométrie) sont aussi variables dans le temps. Ainsi, les cours d'eau ne doivent pas être perçus comme des objets dans un état statique, mais plutôt comme des objets dont les caractéristiques fluctuent dans le temps et varient en termes d'état d'équilibre (Boivin *et al.*, 2019).

Érosion des berges

L'érosion est un phénomène naturel. Généralement provoquée par le courant, elle participe au transport de la charge solide et à la recharge sédimentaire du cours d'eau. Les érosions de berges sont à l'origine des migrations de méandres (cf schéma). Elles garantissent le fonctionnement dynamique du cours d'eau. (Malavoi et Bravard, 2010).

Géomorphologie

Discipline qui étudie les formes de relief et leur mobilité, leur dynamique. Dans le cadre des hydrosystèmes, l'analyse porte sur la géométrie du lit des cours d'eau et les causes de ses transformations spatiales (de l'amont vers l'aval) ou temporelles en relation avec la modification des flux liquides et solides, la dynamique de la végétation riveraine, les interventions humaines. Il s'agit donc d'une science d'interface et de synthèse qui fait appel à des données naturalistes et expérimentales (hydraulique et hydrologie notamment) et à des données issues des sciences humaines (histoire, économie agricole...). (Malavoi et Bravard, 2010).

Hydrogéomorphologie (Géomorphologie fluviale)

Science qui cherche à comprendre et décrire la structure du cours d'eau. Elle étudie les formes des cours d'eau et les conditions de leur formation. (Malavoi et Bravard, 2010).

L'hydrogéomorphologie s'intéresse à l'évolution des formes et des processus qui caractérisent les cours d'eau. Elle repose sur la reconnaissance que les cours d'eau sont des entités dynamiques dans le sens où leurs morphologies oscillent selon l'activation ou non de processus hydrosédimentaires dans un tronçon et un bassin versant (Boivin *et al.*, 2019).

Lit mineur d'un cours d'eau

Partie du lit compris entre des berges franches ou bien marquées dans laquelle l'intégralité de

l'écoulement s'effectue, la quasi-totalité du temps en dehors des périodes de très hautes eaux et de crues débordantes. Le lit mineur englobe le lit d'étiage. Sa limite est le niveau plein bord, c'est-à-dire jusqu'à la limite de débordement. (Malavoi et Bravard, 2010).

Lotique

Un système lotique, en sciences de l'environnement, est ce qui est propre aux eaux courantes, ou relatif à des eaux courantes, quand le débit horaire d'un cours d'eau a une certaine vitesse. Les eaux lotiques sont l'opposé des eaux stagnantes, et un système lotique s'oppose au système lentique. (<https://www.aquaportail.com/definition-4807-lotique.html>)

Migration latérale :

La migration latérale est créée par le déplacement du tracé d'une rivière à l'intérieur de sa vallée. L'érosion des berges est le processus qui permet année après année le mouvement latéral d'un cours d'eau. Les taux de migration sont très variables d'une rivière à l'autre, d'une section à l'autre et annuellement selon les crues. (Boivin *et al.*, 2019)

Puissance spécifique d'un cours d'eau

La puissance spécifique correspond sommairement au produit de la pente multipliée par le débit au niveau plein bord, qui caractérise les potentialités dynamiques du cours d'eau. Les capacités d'ajustement du cours d'eau sont en grande partie fonction de la puissance spécifique. (Malavoi et Bravard, 2010).

Ripisylve (riparienne)

Le terme ripisylve vient du latin « Ripa » qui veut dire la rive et « Sylva » la forêt. La ripisylve est une formation végétale, naturelle et riveraine d'un milieu aquatique située dans la zone frontière entre l'eau et la terre (zone riparienne). On distingue : - le boisement de berge (généralement géré dans le cadre des programmes d'entretien des rivières) situé à proximité immédiate du lit mineur. - la forêt alluviale qui s'étend plus largement dans le lit majeur. La nature de la ripisylve est étroitement liée aux écoulements superficiels et souterrains. Elle exerce une action sur la géométrie du lit, la stabilité des berges, la qualité de l'eau, la vie aquatique, la biodiversité animale et végétale (Malavoi et Bravard, 2010).

Semi-alluvial

Les cours d'eau semi-alluviaux (ou partiellement confinés) sont caractérisés par une partie du linéaire de cours d'eau confiné et une partie alluviale. Il peut par exemple s'agir d'un cours d'eau possédant une berge rocheuse et une berge formée par une plaine alluviale, ou encore d'un cours d'eau étant confiné sur une portion du linéaire et alluvial sur l'autre. À l'inverse, les cours d'eau alluviaux (non confinés) s'écoulent généralement à travers des plaines alluviales larges. Les berges sont composées de sédiments meubles qui permettent au cours de se déplacer latéralement et de déborder sur la plaine alluviale. Ils obtiennent une note élevée, car des ajustements dans le

positionnement du chenal sont probables. (Boivin *et al.*, 2019)

Tête de bassin versant

Parties amont des bassins versants et par extension tronçon amont des rivières qui, en zone de relief notamment, sont le plus souvent moins exposées aux pressions anthropiques que les parties aval (mais restent très fragiles) et qui de ce point de vue constituent des secteurs de référence tout à fait importants et donc à préserver. (Malavoi et Bravard, 2010).

Trajectoire géomorphologique et hydrogéomorphologique

La trajectoire hydrogéomorphologique (HGM) est un concept permettant de dégager objectivement des tendances ou des ruptures dans l'évolution d'un cours d'eau sur une période de temps donnée. Elle permet de comprendre la manière dont les cours d'eau évoluent dans le temps, de proposer un diagnostic hydrogéomorphologique lorsque des facteurs de contrôles y sont associés et d'exposer la sensibilité des cours d'eau à des perturbations. (Boivin *et al.*, 2019)

Annexe 2 : Dossier photographique



Photo 1. Dépôt fluvio-glaciaires au niveau de la berge droite dans le segment A



Photo 2. Dépôt fluvatile silteux au niveau typique des environnements estuariens dans le segment D



Photo 3. Accumulation de sédiments à l'intérieur de l'embâcle massif localisé dans le delta (segment D)



Photo 4. Embâcle de bois latérale localisé sur la berge extérieure d'un méandre à l'aval du segment C



Photo 5. Végétalisation de la portion amont de l'embâcle massif du delta par les herbacés à la suite de la sédimentation



Photo 6. Végétalisation de la portion aval de l'embâcle massif du delta par des arbustes à la suite de la sédimentation de celui-ci



Photo 7. Formation d'un embâcle obstruant un chenal secondaire en aval de l'embâcle massif



Photo 8. Chenal secondaire à l'est de l'embâcle massif pendant la période d'étiage (juillet 2019)



Photo 9. Chenal secondaire en aval de l'embâcle massif pendant la période d'étiage (juillet 2019)



Photo 10. Barrage de castor submergé localisé à la jonction entre le nouveau chenal principal et celui de la rivière Port-Daniel



Photo 11. Embâcle de bois localisé dans le nouveau chenal principal obstruant 100% de la largeur, mais moins de 75% de l'aire hydraulique.

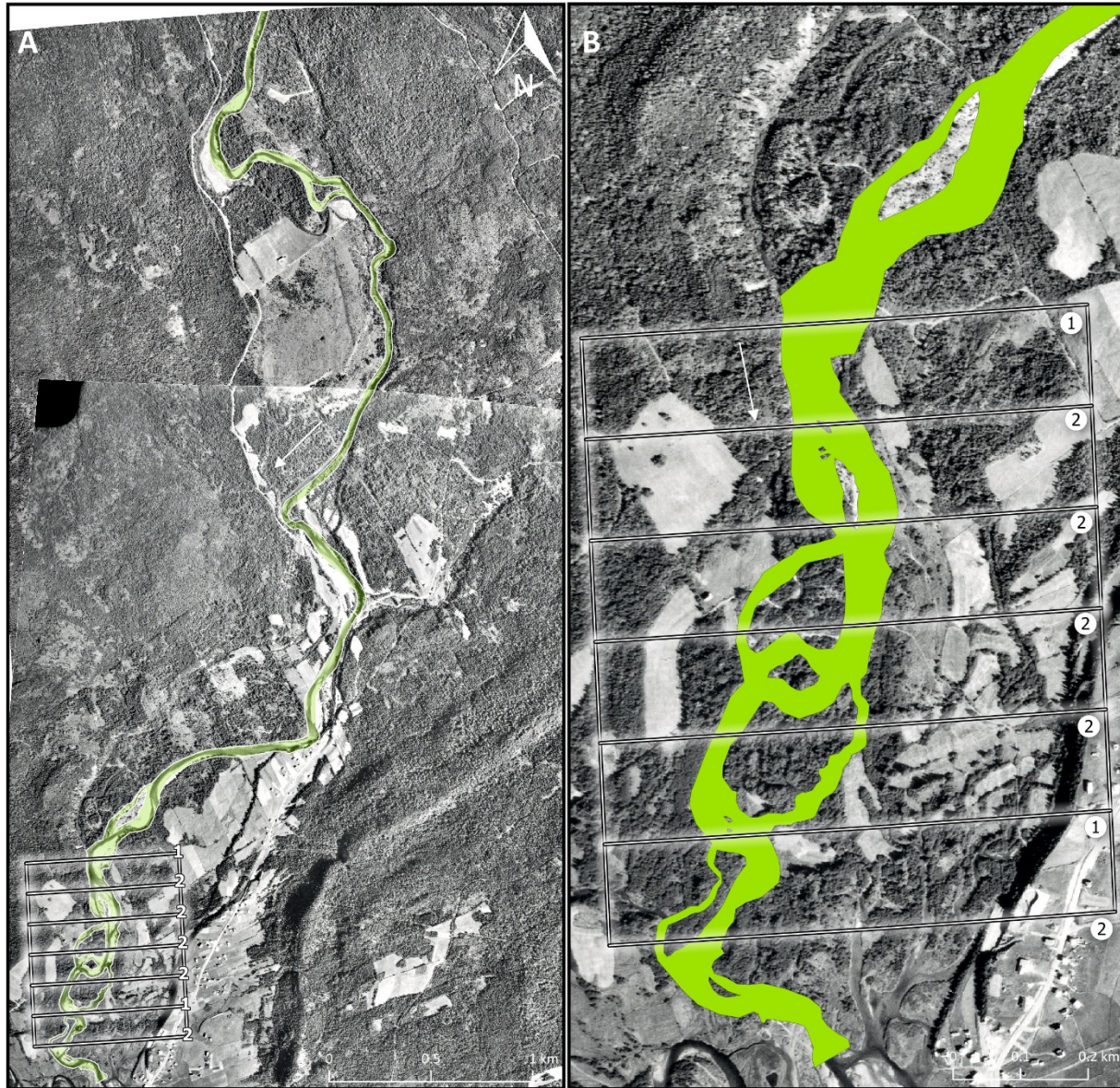
Annexe 3 : Documents historiques

Photographies aériennes 1964, 1975, 1986 et 2001

Orthophotographies 2004, 2016

Imagerie satellitaire 2010 et 2013

Google Earth (Landsat) et imagerie par drone 2019



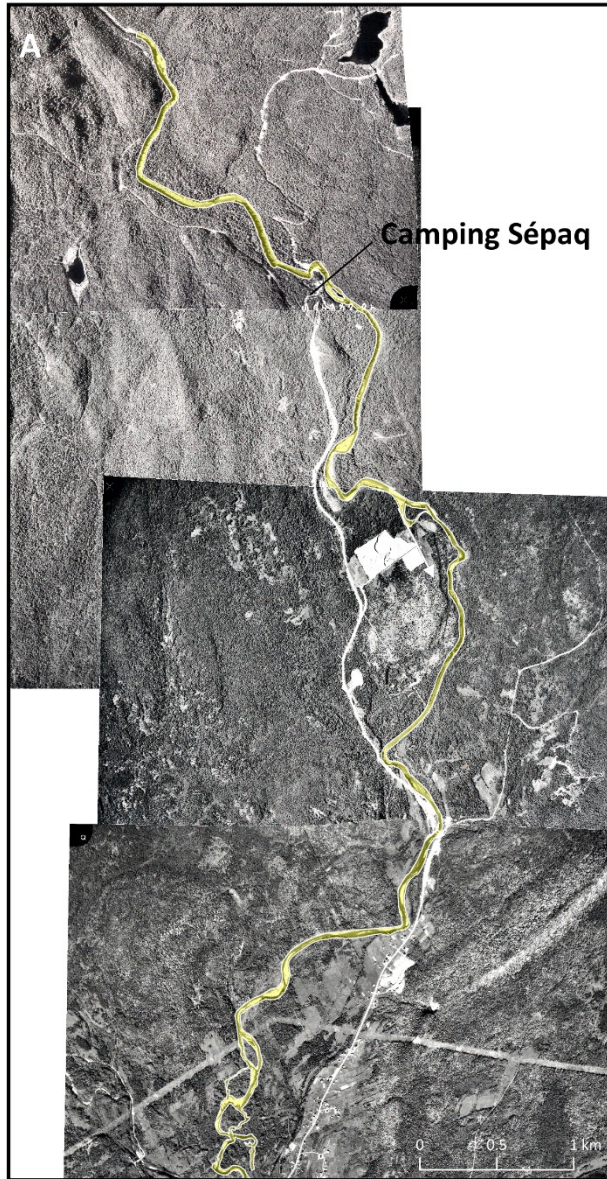
— 2 — Transect et nombre de chenaux

Tracé fluvial

■ Lit mineur 1964

Date: 12 janvier 2020
Auteur: Johan Bérubé

Réf: LERGA (UQAC)
Q64129-180, Q64129-207



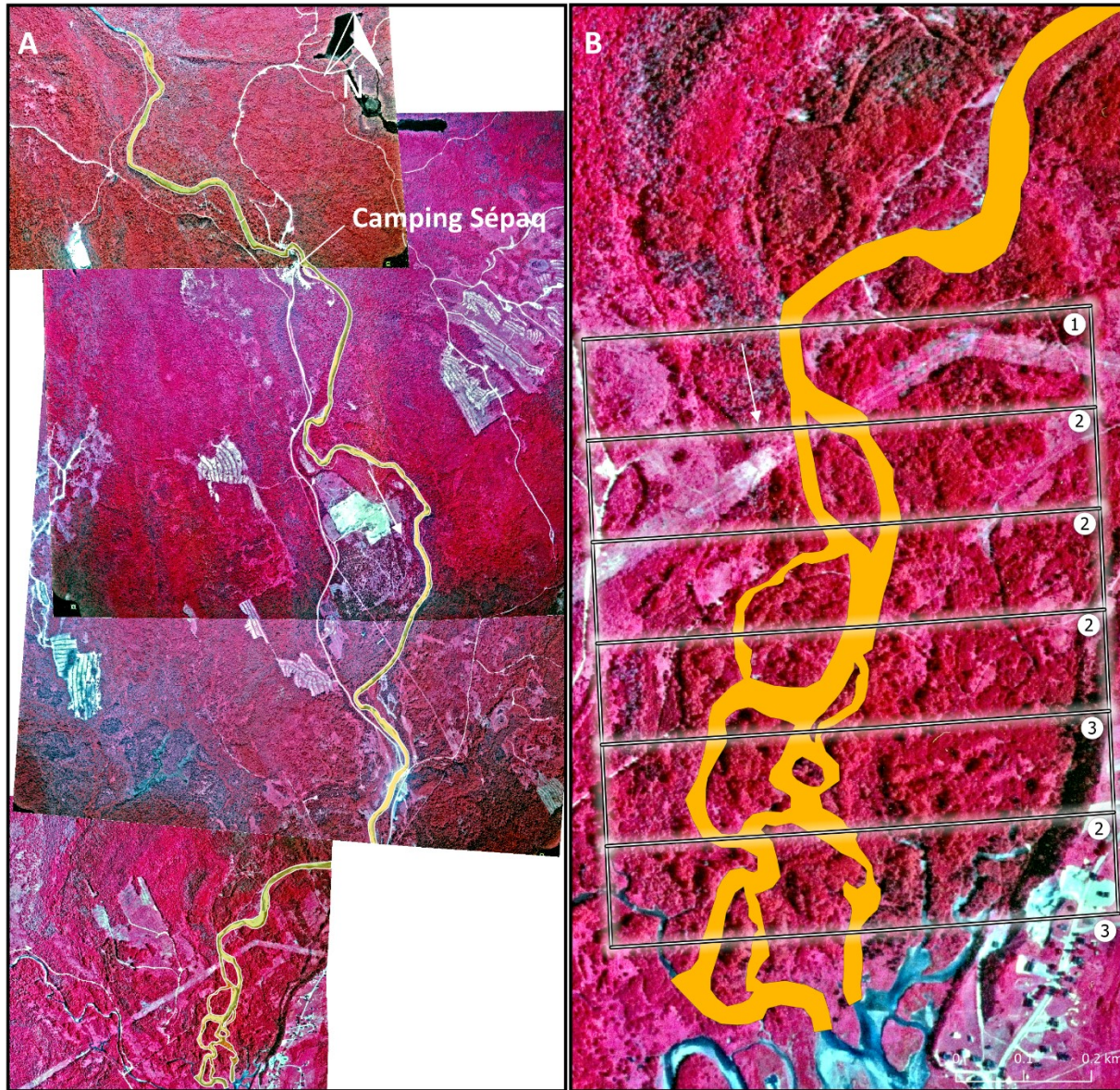
— 2 — Transect et nombre de chenaux

Tracé fluvial

■ Lit mineur 1975

Date: 12 janvier 2019
Auteur: Johan Bérubé

Références: LERGA (UQAC)
Q75392-144, Q75332-086,
Q75324-143, Q75332-057



— 2 — Transect et nombre de chenaux

Tracé fluvial

■ Lit mineur 1986

Date: 12 janvier 2019
Auteur: Johan Bérubé

Références: LERGA (UQAC)
Q86406-198, Q86406-011,
Q86405-201, Q86403-129



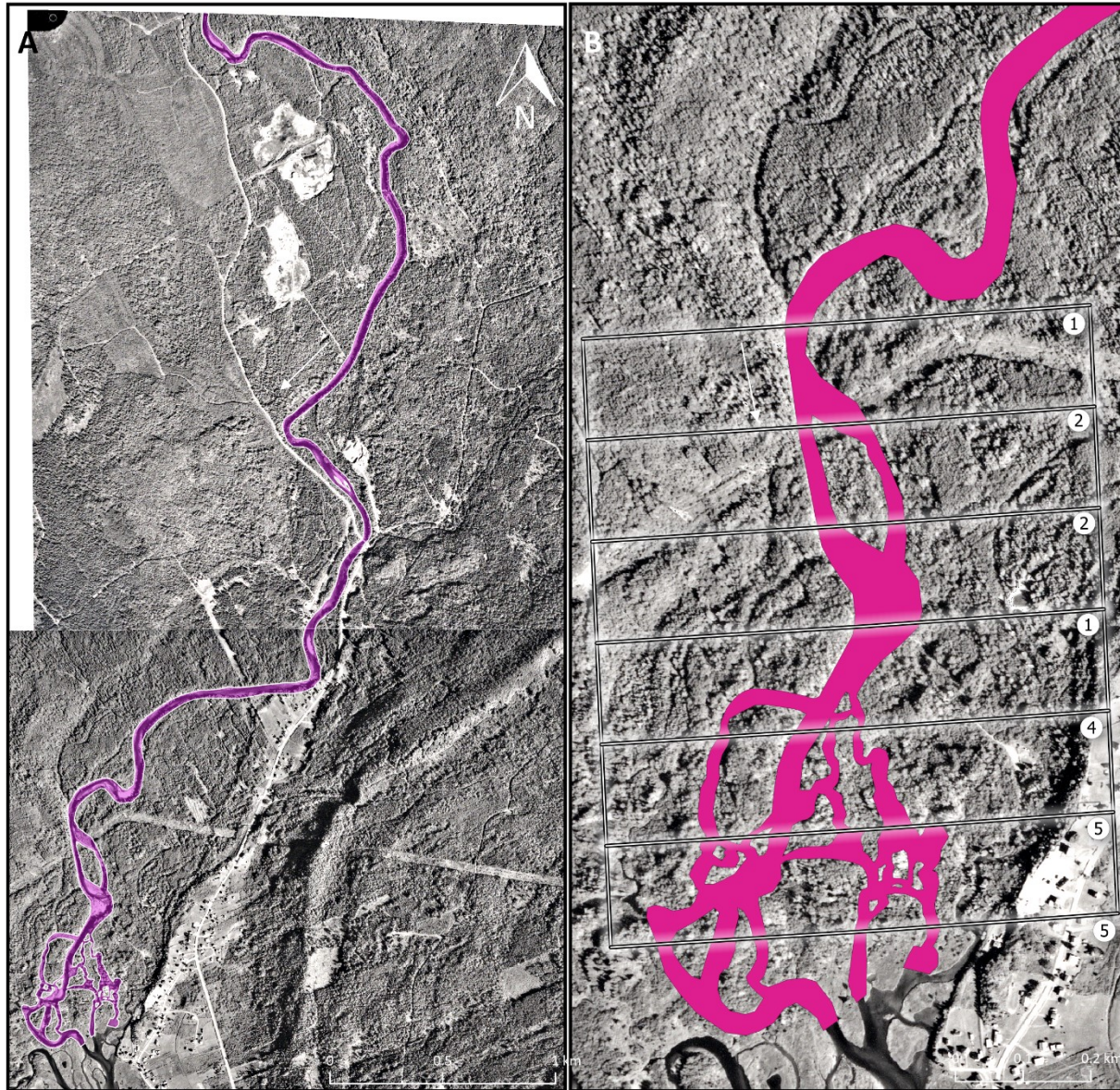
— 2 — Transect et nombre de chenaux

Tracé fluvial

■ Lit mineur 2001

Date: 12 janvier 2019
Auteur: Johan Bérubé

Références: LERGA (UQAC)
Q01809-208, Q01809-206



— 2 — Transect et nombre de chenaux

Tracé fluvial

■ Lit mineur 2004

Date: 12 janvier 2020
Auteur: Johan Bérubé

Références: LERGA (UQAC)
Q04710-021, Q04710-041

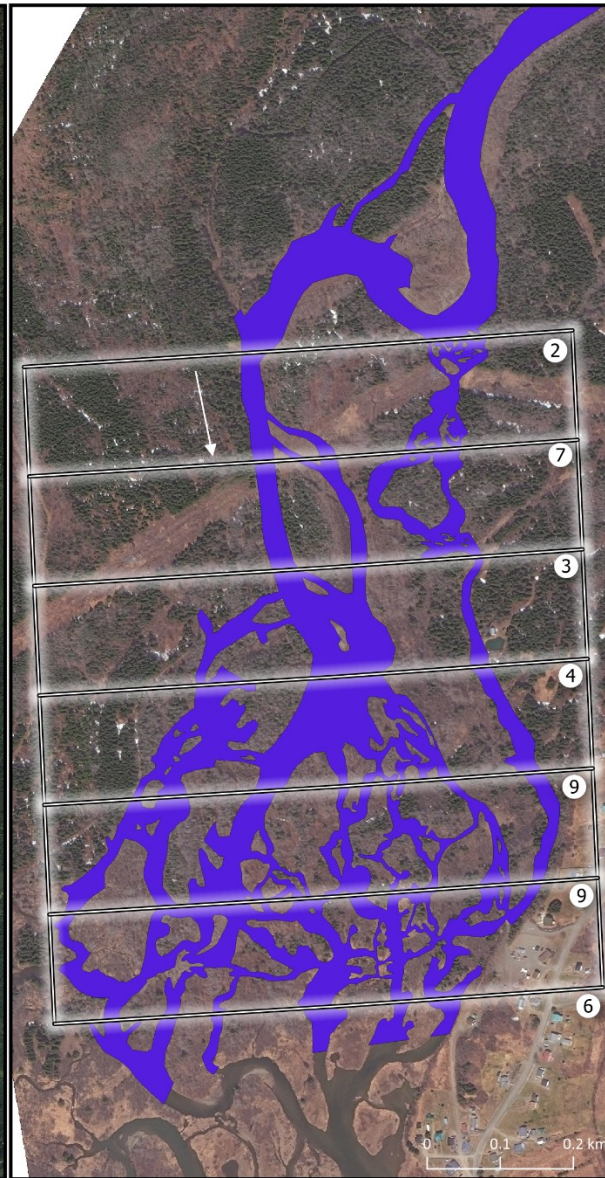


Transect et nombre de chenaux

Tracé fluvial
Lit mineur 2010

Date: 12 janvier 2020
Auteur: Johan Bérubé

Références: LERGA (UQAC)
Worldview 02



— 2 — Transect et nombre de chenaux

Tracé fluvial

Lit mineur 2013

Date: 12 janvier 2020
Auteur: Johan Bérubé

Références: LERGA (UQAC)
Worldview 02



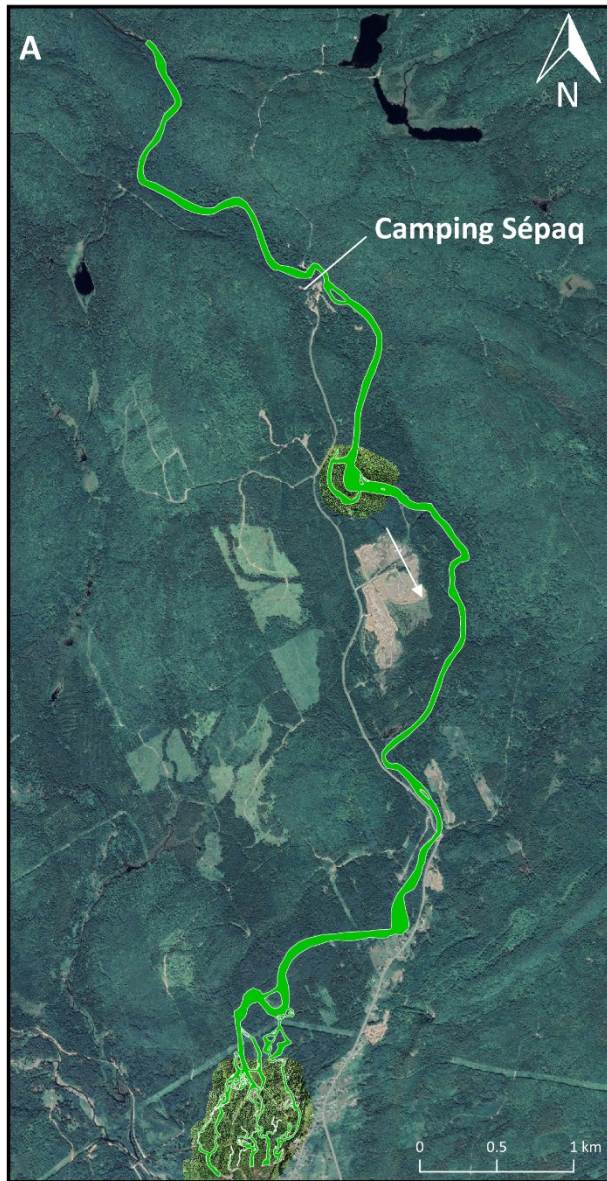
— 2 — Transect et nombre de chenaux

Tracé fluvial

■ Lit mineur 2016

Date: 12 janvier 2020
Auteur: Johan Bérubé

Références: LERGA
(UQAC), SÉPAQ



— 2 — Transect et nombre de chenaux

Tracé fluvial

■ Lit mineur 2019

Date: 12 janvier 2020
Auteur: Johan Bérubé

Références: LERGA (UQAC)
SÉPAQ

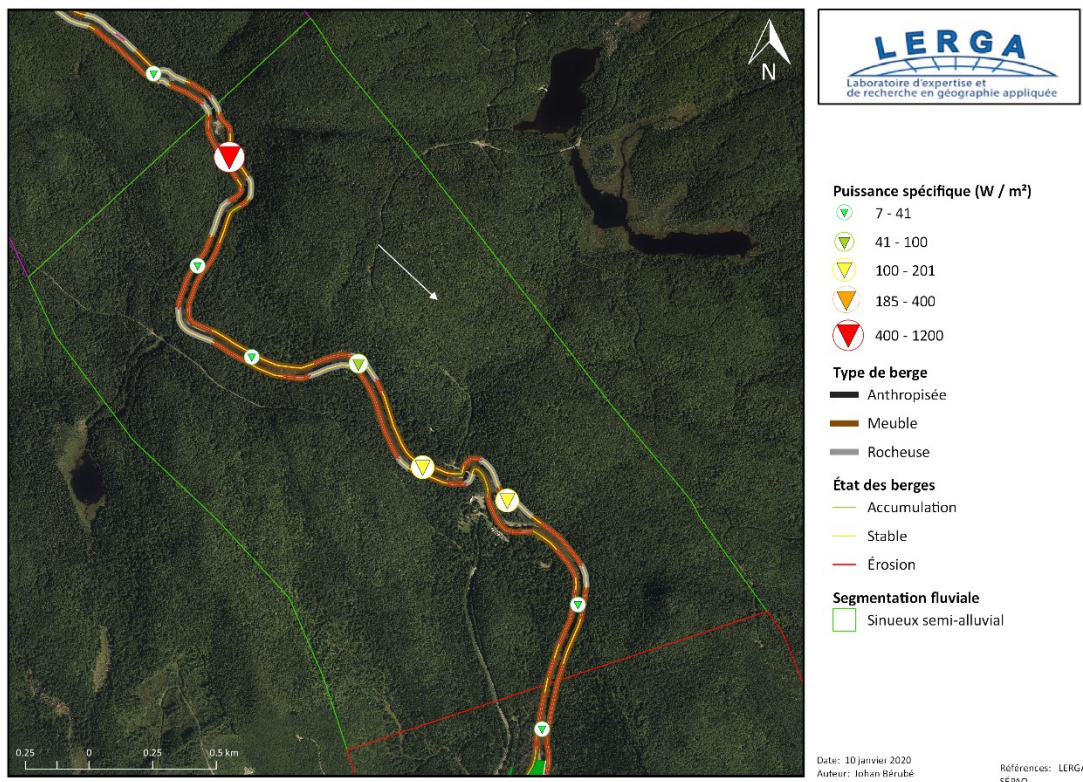
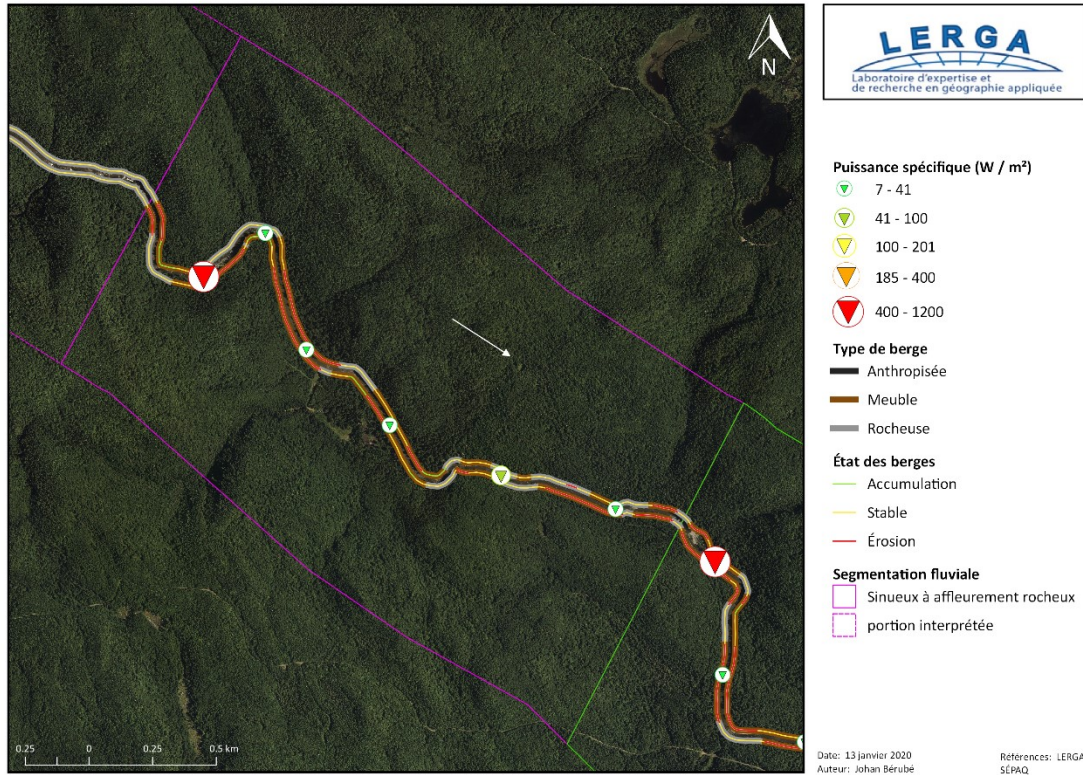
Id embâcle:		Date	
Caractéristiques de l'embacle			
Type:			
% du chenal obstrué:			
% de l'Aire obstruée:			
Orientation:			
Position:			
Chenal:			
Provenance:			
Indicateur de provenance:			
Volume:	Épaisseur (m):		
	Largeur (m):		
	Longueur (m):		
Densité (M-Kg) où M=45,3V + 62,3:			
Commentaires:			
Caractéristiques du bois mort			
Nb:			
Circonférence (cm):			
Longueur (m):			
Réseau Racinaire (%) :			
Composition (%):	Troncs:		
	Branches:		
	Racine:		
	Débris:		
	Autres:		
Commentaires:			
Caractéristiques Morpho-dyn.			
Style fluvial:			
Longueur de la section:			
BG:			
BD:			
Composition:			
État:	G:		
	D:		
Source de sédiments:			
% fin:			
% grossier:			
Commentaires:			

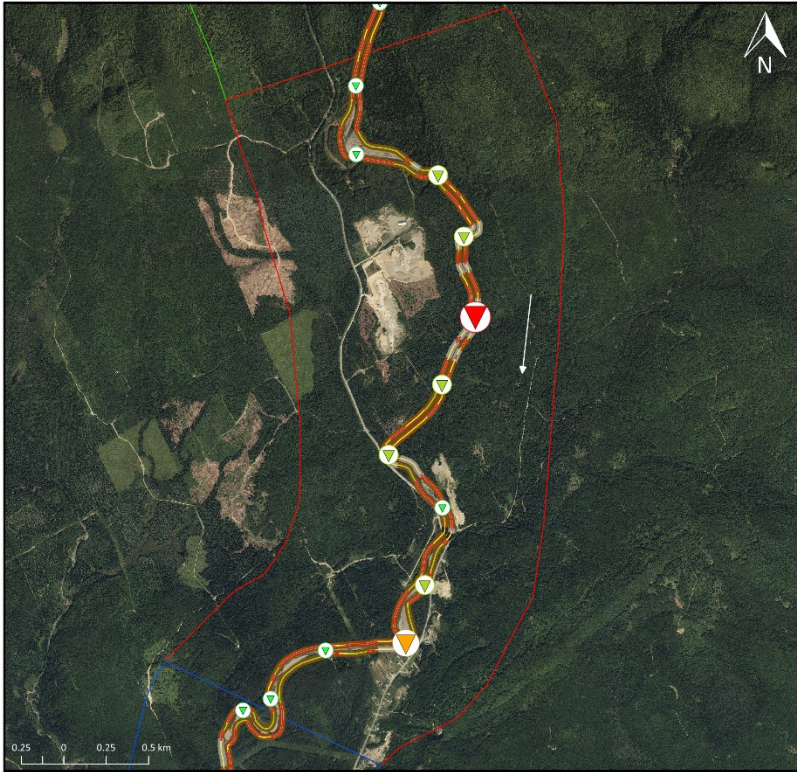
Tableau résumé des inventaires végétal

Tableau synthèse des inventaires végétal réalisées sur les berges actives

Site	SP dom.	DHP_{moy} (cm)	Hauteur_{moy} (m)	Densité (t / 100 m²)	Volume total (m³)	Volume spécifique (m³ / m²)
V1	THO-BOP	28	10	12	1,0	0,0103
V2	SAB	20	10	18	0,7	0,0074
V3	BOJ	19	9	20	0,8	0,0080
V4	SAB-THO	18	9	12	0,8	0,0083
V5	PET-SAB	30	11	11	1,1	0,0107
V7	SAB-PET	12	7	20	0,3	0,0026
V8	THO-PEB	14	7	24	0,3	0,0031
V9	SAB-PET	28	10	12	0,9	0,0087

Distribution longitudinales des puissances spécifiques





Puissance spécifique (W / m^2)

- ▼ 7 - 41
- ▼ 41 - 100
- ▼ 100 - 201
- ▼ 185 - 400
- ▼ 400 - 1200

Type de berge

- Anthropisée
- Meuble
- Rocheuse

État des berges

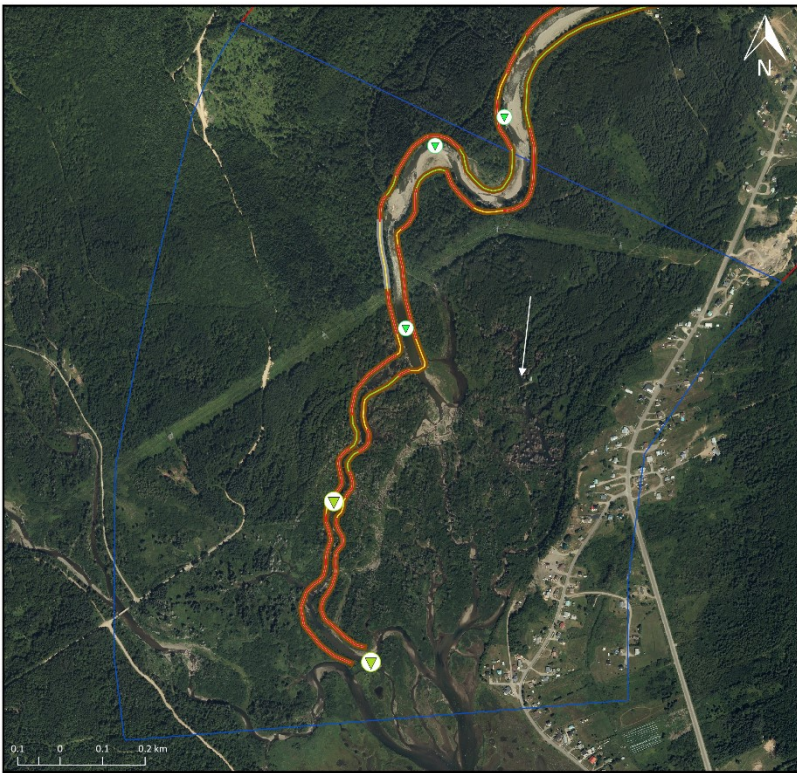
- Accumulation
- Stable
- Érosion

Segmentation fluviale

- Sinueux alluvial

Date: 13 janvier 2020
Auteur: Johan Bérubé

Références: LERGA, SÉPAQ



Puissance spécifique (W / m^2)

- ▼ 7 - 41
- ▼ 41 - 100
- ▼ 100 - 201
- ▼ 185 - 400
- ▼ 400 - 1200

Type de berge

- Anthropisée
- Meuble
- Rocheuse

État des berges

- Accumulation
- Stable
- Érosion

Segmentation fluviale

- Deltaïque

Date: 12 janvier 2020
Auteur: Johan Bérubé

Références: LERGA, SÉPAQ