

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE APPLICABLE À L'ÉTABLISSEMENT DES ZONES INONDABLES ET DE MOBILITÉ DES COURS D'EAU

ANNEXES

ÉDITION 2025



RÉCIPIENDAIRE
Prix de Scientifique
de l'année 2024
de Radio-Canada



FINALISTE
Prix d'excellence
de l'administration
publique 2025



Votre
gouvernement

Québec



Équipe de réalisation

Direction

Jean Francoeur, ing. M. Sc., directeur principal
de l'expertise hydrique

Coordination

François Godin, ing. M. Sc.

Rédaction

Sarah Aubé-Michaud, M. Sc. géomorphologue
François Coderre, ing.
Stéphane Comtois, B. Sc. géomatique
Jean-François Cyr, ing. M. Sc.
Hind El Housni, Ph. D.
François Godin, ing. M. Sc.
Guillaume Jeanmoye-Turcotte, M. Sc. géogr., M. Sc. Eau
Mathieu Levasseur, B. Sc. géographie
Valérie Mathon-Dufour, M. Sc. géomorphologue
Gabriel Roy-Poulin, ing. M. Sc.
Chantal Rainville, coordonnatrice OPI
Richard Turcotte, ing. Ph. D.

Révision et validation des textes

François Godin, ing. M. Sc.
Adeline Bazoge, M. Sc. Env., directrice de l'hydrologie
et de l'hydraulique
Jean Francoeur, ing. M. Sc., directeur principal
de l'expertise hydrique
Renée Plamondon, M. Sc., directrice de l'aménagement
et du milieu hydrique
Caroline Robert, directrice principale de la gouvernance
de l'eau et de l'encadrement des inondations

Édition

Marie-Ève Després, conseillère en communication
Ariane Michaud-Gagnon, graphiste
Chrystiane Harnois, réviseuse linguistique
Accessibilité Québec, mise en page et édition

Collaboration

Joëlle Bérubé, ing. M. Sc., Daniel Blais, B. Sc. géographie, Ursule Boyer-Villemare, Ph. D., Patricia Clavet, ing. M. Sc., Bakary Diakhaby, M. Sc. géographie, Catherine Frizzle, Ph. D., Catherine Gauthier, Brigitte Laberge, biologiste, M. Sc. Eau, Michael Laliberté-Grenier, urbaniste, M. ATDR, Audrey Lavoie, ing. M. Sc., Éric Levasseur, B. Sc. Géomatique, Édouard Mailhot, ing. M. Sc., Patricia Mathieu, tech. Géomatique, Marie-Lise Paquin, tech. Géomatique, Véronique Parent-Lacharité, Clara Pelletier-Boily, M. Sc., Jasmine Pelletier-Dumont, M. Sc., Simon Rochette, ing. Ph. D., Françoise Tardif, ing. M. Sc., Michèle Tremblay, M. Sc. géographie

Un comité scientifique composé de 13 personnes principalement du monde de la recherche universitaire, gouvernementale et parapublique a été consulté dans le cadre de la rédaction du Guide. Des consultations ont aussi été réalisées avec des spécialistes ouvrant dans le monde municipal.

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction principale de l'expertise hydrique du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP).

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830

1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp

Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Dépôt légal – 2025

Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-555-01276-9 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.
© Gouvernement du Québec – 2025

Table des matières

Annexe 1 – Glossaire	4
Annexe 2 – Acronymes	18
Annexe 3 – Tableau synthèse des exigences méthodologiques minimales et éléments de bonne pratique pour l'établissement des zones inondables et des zones de mobilité	21
Volet technique et scientifique	21
Volet cartographie réglementaire	34
Annexe 4 – Liste provisoire des barrages influents (mai 2025)	35
Annexe 4.1 Barrages de Classe 1	35
Annexe 4.2 Barrages de Classe 2	38
Annexe 5 – Clé d'identification des styles fluviaux	43
Mise en contexte	43
Aide-mémoire pour la classification des styles fluviaux	43
Références	53
Annexe 6 – Grilles de validation terrain - mobilité	54
Annexe 6.1 Fiche de caractérisation à l'échelle du tronçon homogène	54
Annexe 6.2 Fiche de caractérisation à l'échelle du site	57
Annexe 6.3 Application d'une grille de caractérisation terrain des zones de mobilité	61
Annexe 7 – Arborescence du référentiel de données	100
Annexe 8 – Contenu d'un rapport technique	101
Annexe 9 – Exemples de calcul de l'incertitude liée au géoréférencement	104
Exemple 1 : Analyse avec deux images (1963 et 2023)	104
Exemple 2 : Analyse avec trois images (1963, 1995 et 2023)	106

Annexe 1 – Glossaire

Aggradation	Accumulation verticale de sédiments ¹ .
Aléa	Phénomène, manifestation physique ou activité susceptible d'occasionner des pertes en vies humaines ou des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement ² .
Aléa « inondation »	Phénomène caractérisé par plusieurs paramètres, notamment la fréquence, l'intensité (profondeur d'eau et vitesse de courant), la durée, la cinétique (lente ou rapide), la saisonnalité, la périodicité et la combinaison des autres types d'inondations.
Aléa « mobilité »	Phénomène caractérisé par plusieurs paramètres, notamment un déplacement horizontal ou vertical résultant de différents processus physiques, dont l'érosion et la sédimentation.
Alluvions	Sédiments transportés puis déposés par un cours d'eau ³ .
Amont	Direction opposée à l'écoulement d'un cours d'eau.
Atténuation de la crue	Action, statique ou dynamique, en période de crue par laquelle un barrage restitue vers l'aval par son ouvrage d'évacuation un débit inférieur au débit qu'il lui est apporté par son bassin versant tributaire. Le terme « laminage de la crue » est aussi utilisé pour exprimer cette action.
Aval	Direction vers laquelle coule un cours d'eau.
Aufeis	Nappe de glace stratifiée, formée à la surface du sol, d'un cours d'eau ou d'un lac, par congélation d'écoulements successifs d'eau pouvant provenir d'une exfiltration d'eau souterraine ou d'une source, ou émergeant de fractures glacielles d'un cours d'eau ⁴ .
Avulsion	Processus naturel de déplacement du tracé d'un cours d'eau ⁵ .
Barrage de classe 1	Barrages influents, opérés en temps réel ou sur une échelle saisonnière, considérés comme pouvant contribuer directement ou indirectement à une atténuation des débits de crue en aval.

Barrage de classe 2	Barrages influents, opérés en temps réel ou sur une échelle saisonnière et considérés comme ne pouvant contribuer à une atténuation des débits de crue en aval.
Barrage de classe 3	Barrages opérés non significativement influents.
Barrages gérés en temps réel	Barrage muni d'appareils d'évacuation manœuvrables et faisant l'objet d'une gestion quasi en continu (fréquence journalière ou sous-journalière) de la part des exploitants, de façon à réaliser les diverses opérations prévues dans le plan de gestion de l'ouvrage.
Barrages gérés sur une échelle de temps saisonnière	Barrages munis d'appareils d'évacuation manœuvrables et faisant l'objet d'une gestion impliquant des opérations ponctuelles et peu fréquentes, typiquement deux fois par année, répondant à des objectifs de gestion saisonniers.
Bassin versant	Territoire délimité par des lignes de partage des eaux à l'intérieur desquelles les précipitations sont concentrées vers un même exutoire. La plupart du temps, la ligne de partage des eaux correspond aux lignes de crêtes qui définissent un bassin versant topographique ⁶ .
Bathymétrie	Mesure de l'élévation du fond du cours d'eau.
Calage du modèle hydrodynamique	Étape de l'activité de modélisation qui consiste à adapter les paramètres du modèle hydrodynamique afin que les niveaux d'eau simulés soient comparables aux niveaux d'eau observés.
Chenal secondaire	Voie d'écoulement auxiliaire qui se forme parallèlement au chenal principal.
Condition d'atténuation	Condition requise dans la délimitation de la zone inondable d'un cours d'eau influencé par la gestion ou l'opération d'un barrage influent (barrage de classe 1 pouvant actuellement contribuer à un effort d'atténuation de la crue). Cette condition est basée sur un débit de crue atténué par l'opération des ouvrages d'évacuation du barrage.
Condition d'atténuation restreinte	Condition requise dans la délimitation de la zone inondable d'un cours d'eau influencé par la gestion ou l'opération d'un barrage influent (barrage de classe 1 pouvant actuellement contribuer à un effort d'atténuation de la crue). Cette condition est basée sur un débit de crue avec atténuation restreinte par l'opération des ouvrages d'évacuation du barrage.

Cône alluvial	Modelé de terrain en forme d'éventail (ou de cône) de sédiments de différentes tailles transportés par de petits cours d'eau à écoulement torrentiel, déposés au pied du versant d'une vallée. La formation des cônes alluviaux est liée à une rupture de pente lorsqu'un cours d'eau émerge d'un relief escarpé en amont et se déverse dans une plaine en aval.
Confinement	Capacité d'un cours d'eau à se déplacer latéralement dans l'espace de la vallée qu'il occupe.
Confluence	Rencontre et intersection de deux cours d'eau ou plus.
Corridor d'amplitude des méandres	Espace centré sur l'axe principal des méandres, de largeur suffisante pour englober les boucles de méandres actuelles et les méandres abandonnés ⁷ .
Cote de crue	Élévation du niveau de l'eau pour un débit de crue donné.
Cours d'eau	Entité géographique dans laquelle l'eau s'écoule, y compris les ruisseaux, les rivières et les fleuves.
Courbe de tarage	Relation mathématique entre le niveau d'eau et le débit mesuré <i>in situ</i> .
Crue	Augmentation importante du débit (et par conséquent du niveau) d'un cours d'eau, le plus souvent attribuable aux précipitations sous forme liquide ou à la fonte de la neige.
Crue morphogène	Crue ayant la capacité de modifier substantiellement la morphologie du cours d'eau ⁸ .
Danger	Potentiel de nuisance, d'accident, d'atteinte aux personnes ou aux biens.
Débit	Volume d'eau qui s'écoule par unité de temps. Ces unités sont généralement exprimées en mètres cubes par seconde (m ³ /s).
Débit de crue	Débit élevé causé par de fortes pluies ou la fonte des neiges.
Débit de pointe	Débit maximal instantané ou quasi instantané (sur quelques minutes). Il s'évalue généralement à partir des mesures du débit à haute fréquence (toutes les 15 minutes) ou par rapport au débit maximal journalier amplifié par un facteur de pointe.
Débit plein bord	Débit qui remplit complètement le chenal d'un cours d'eau sans déborder dans la plaine alluviale, généralement associé à une récurrence de un à deux ans ⁹ .

Délaissé de crue	Indicateur physique qui consiste en des débris transportés à la surface de l'eau ou en suspension dans l'eau, qui se sont accrochés à des obstacles fixes.
Delta	Accumulation de sédiments, généralement en forme d'éventail, transportés par un cours d'eau à son embouchure dans un plan d'eau récepteur ¹⁰ .
Dispersion (signal hydrologique)	Évaluation de l'enveloppe interquartile (75 ^e et 25 ^e) comprenant la moitié des valeurs probables autour de la valeur médiane (50 ^e). Indique la dispersion du signal autour de l'ampleur ¹¹ .
Échelle limnimétrique	Règle graduée en métal servant à la lecture du niveau d'eau.
Écoulement	Mouvement de l'eau.
Effort d'atténuation	Considération relative au mode de gestion d'un barrage permettant de déterminer dans sa gestion l'existence d'une possible fonction d'atténuation de crue, dans le but d'en arriver à un départage préliminaire des barrages potentiellement influents en barrages de classe 1 et en barrages de classe 2.
Élément exposé¹²	Élément tangible ou intangible d'un milieu, susceptible d'être affecté par un aléa naturel ou anthropique et de subir des préjudices ou des dommages. Un élément exposé peut faire référence à une personne, à un bien, à une infrastructure, à un réseau, à une activité, à un service, à un élément patrimonial ou encore à un écosystème. Il peut également se rapporter aux aspects intangibles comme la cohésion sociale d'une communauté, les réputations ou les occasions d'affaires. Certains auteurs et organisations utilisent les expressions enjeux, éléments à risque, éléments menacés ou éléments vulnérables pour désigner les éléments exposés.
Embâcle de glace	Phénomène se produisant lorsque le couvert de glace se brise en morceaux et part à la dérive sur les cours d'eau. Les morceaux de glace forment alors un amoncellement qui empêche l'eau de s'écouler normalement. L'eau s'accumule alors en amont de l'embâcle et il y a inondation ¹³ .
Embouchure	Ouverture par laquelle un cours d'eau se jette dans un lac, un réservoir, la mer ou dans un autre cours d'eau dont il est un affluent.
Erreur résiduelle	Différence entre les coordonnées de l'image géoréférencée et les coordonnées de l'image de référence aux points de contrôle.

Érosion	Phénomène naturel de retrait de matériel faisant partie de la dynamique des systèmes maritimes et fluviaux et participant à l'évolution des formes des côtes et des berges des cours d'eau.
Estimation des crues	Dans le contexte d'un processus de cartographie des zones inondables, étape qui consiste à évaluer les débits de crue du cours d'eau concerné en fonction des probabilités annuelles au dépassement qui sont fixées par le cadre réglementaire d'aménagement de ces zones.
Facteur de pointe	Rapport du débit de pointe instantané sur le débit journalier.
Géoréférencement	Processus d'attribution de coordonnées géographiques à des données spatiales ¹⁴ .
Hydrogéomorphologie	Science qui étudie la complexité des formes, des processus et des rétroactions des cours d'eau selon une gamme d'échelles allant des sections transversales du chenal au bassin versant. Approche complémentaire à l'hydrologie et à l'hydraulique dans le domaine de la gestion des cours d'eau, car elle permet de cerner plusieurs processus entourant leur évolution, notamment leur relation avec les éléments minéraux (sols, roches, sédiments)¹⁵.
Hydrogramme	Représentation graphique de la variation au cours du temps de certaines variables hydrologiques telles que le niveau, le débit, la vitesse ou le transport en suspension ¹⁶ .
Hydrosédimentaire	Ensemble des flux sédimentaires et d'énergie qui conditionnent l'état du budget sédimentaire et donc l'évolution du système ¹⁷ .
Indice d'intensité de l'aléa	Indice qui présente un niveau de danger potentiel lié à une inondation ou à la mobilité si une personne ou un aménagement y est exposé. Cet indice est généralement subdivisé en classes d'intensité, telles intensité très élevée, intensité élevée, intensité moyenne et intensité faible.
Incertitude	Quantification des marges d'erreur possibles dues au manque d'information dans l'observation, la représentation et la modélisation des phénomènes physiques.
Incision	Érosion verticale des sédiments ¹⁸ .

Influence hydrologique	Paramètre définissant l'influence que peut avoir une source de perturbation anthropique sur le débit de crue d'un cours d'eau situé en aval. Cette considération entre principalement dans le processus de délimitation d'une zone inondable influencée par la présence ou le fonctionnement d'un barrage situé en amont. En fonction de certains critères, un barrage fera ainsi l'objet d'un classement préliminaire qui le désigne comme étant potentiellement influent ou non significativement influent.
Jaugeage	Mesure <i>in situ</i> du débit d'un cours d'eau dans le cadre d'une campagne sur le terrain
LiDAR	Capteur actif utilisant comme source émettrice un laser ¹⁹ . Le terme « LiDAR » est l'acronyme de l'expression anglaise <i>Light Detection and Ranging</i> , qui se traduit en français par « détection et télémétrie par la lumière ».
Ligne d'eau	Relevé de plusieurs niveaux d'eau en divers endroits le long d'un cours d'eau.
Lit majeur	Zone d'extension maximale des crues, aussi appelée plaine alluviale fonctionnelle ²⁰ .
Lit mineur	Partie du lit occupée en permanence par le cours d'eau.
Unité de paysage	Entité de grande envergure caractérisée par une homogénéité morphologique, sédimentaire et dynamique, résultant des processus fluviaux dominants tels que l'érosion, le transport et le dépôt. Elle inclut des formations géomorphologiques de grande taille, comme les plaines, les bassins, les vallées fluviales, les deltas ou les cônes alluviaux.
Marnage	Variation du niveau d'eau d'un cours d'eau, d'un réservoir ou d'un étang.
Méandre	Courbure marquée du tracé d'une rivière, formée par l'érosion des berges extérieures et la sédimentation sur les berges intérieures, créant une sinuosité caractéristique du cours d'eau.
Méandre abandonné	Ancien chenal d'un cours d'eau abandonné formant une étendue d'eau fortement arrondie où, souvent, stagnent les eaux. Aussi appelé bras mort.

Migration latérale	Phénomène de déplacement des berges d'un cours d'eau, sur le plan horizontal, sous l'effet de l'érosion et de la sédimentation graduelle. L'intensité de ce phénomène est corollaire à la nature des matériaux qui composent la berge (granulométrie, cohésion et structure).
Milieux humides	Lieux d'origine naturelle ou anthropique qui se distinguent par la présence d'eau de façon permanente ou temporaire, laquelle peut être diffuse, occuper un lit ou saturer le sol et dont l'état est stagnant ou en mouvement. Les milieux humides sont également caractérisés par des sols hydromorphes ou une végétation dominée par des espèces hygrophiles ²¹ .
Mobilité des cours d'eau	Voir Aléa « mobilité »
Mode d'évacuation	Condition de gestion considérée pour une évaluation prudente des débits de crue sortant d'un barrage de classe 2.
Mode de rétention	Condition de gestion considérée pour une évaluation prudente des niveaux d'eau en amont d'un barrage de classe 2.
Modèle numérique de terrain	Modèle tridimensionnel représentant, sous forme numérique, le relief d'une portion de territoire. Le modèle numérique de terrain ne prend pas en compte les objets se trouvant à la surface du terrain, tels les plantes et les bâtiments ²² .
Niveau plein bord	Niveau d'eau qui correspond à l'amorce des débordements sur la plaine alluviale. Le niveau plein bord est associé au débit effectif qui détermine la taille et la géométrie du cours d'eau à long terme ²³ .
Orthophotographie	Photographie aérienne géométriquement corrigée et géoréférencée ²⁴ .
Ouvrage de protection contre les inondations	Peut être assimilé à tout ensemble d'ouvrages, d'infrastructures et d'éléments de l'environnement, continus ou discontinus, qui forment une protection cohérente d'un territoire. Il s'agit d'un ouvrage qui a été construit ou modifié afin de limiter l'expansion naturelle des eaux d'un lac ou d'un cours d'eau et de prévenir l'inondation.

Ouvrage de stabilisation (mécanique)	Ouvrage permettant d'accroître la résistance mécanique d'un sol ou d'une infrastructure afin de les protéger contre l'érosion et les glissements de terrain. Les ouvrages de stabilisation mécaniques sont constitués de matériaux solides (roche, béton, acier, bois traité), capables de résister aux forces érosives actives (vagues, courants, glaces). Il peut s'agir, par exemple, d'un perré, d'un mur de bois en gradins, d'un mur de gabions, d'un mur-caissons, d'un mur de soutènement en bois et d'un mur de soutènement en béton. Les ouvrages mécaniques excluent les ouvrages de stabilisation végétale et mixte ²⁵ .
Photo-interprétation	Analyse d'images aériennes ou satellitaires pour en extraire des informations.
Plaine alluviale	Unité sédimentaire qui borde le chenal et qui a été construite par des processus fluviaux (migration et débordements) ²⁶ .
Plaine alluviale fonctionnelle	Désigne la partie de la plaine alluviale qui est actuellement sous l'emprise des aléas du cours d'eau (inondation, mobilité et embâcles). La plaine alluviale fonctionnelle correspond à une zone potentiellement inondable, mais dont on ne connaît ni la récurrence ni les débits correspondants. Elle est déterminée à partir de traces laissées sur le terrain par d'anciennes crues. Ces traces (ou formes fluviales) peuvent être d'anciens talus d'érosion, des formes sédimentaires, des bras de rivière abandonnés, des coupures de méandre, etc. ^{27 28}
Plaine alluviale non fonctionnelle	Partie de la plaine alluviale qui n'est plus soumise aux processus fluviaux actuels ²⁹ .
Plus hautes eaux connues	Niveaux d'eau observés lors de la plus forte crue documentée.
Point d'inflexion	Endroit où s'opère un changement de concavité dans le chenal d'un cours d'eau et où le talweg passe d'une berge à une autre ³⁰ .
Probabilité annuelle au dépassement	Probabilité statistique (ou fraction des chances) qu'un événement important (en l'occurrence une crue) soit égalé ou dépassé sur une base annuelle.
Profil en long	Graphique qui présente, pour un débit donné, l'allure du plan d'eau pour un tronçon de rivière et qui permet de mettre en évidence les paliers et les pentes du tronçon de rivière à l'étude.
Progradation	Avancée d'un delta ou d'un cône alluvial par accumulation de sédiments ³¹ .

Puissance spécifique	Indicateur de la capacité d'un cours d'eau à effectuer un travail géomorphologique (transport de sédiments, érosion des berges), calculé par le rapport entre la puissance hydraulique totale et la largeur du chenal ³² .
Racine de l'erreur quadratique moyenne	Indicateur statistique de la précision du géoréférencement ³³ .
Recoupement de méandre	Phase de l'évolution d'un méandre caractérisée par la destruction de son pédoncule. Ce phénomène se produit par tangence, lorsque deux berges concaves en cours d'érosion finissent par se rejoindre, et par déversement, lorsque les eaux de crue coupent à travers le pédoncule avant d'atteindre son développement maximal. Dans les deux cas, l'ancien chenal devient un méandre abandonné ^{34 35} .
Récurrence	Période de retour d'un événement égale à l'inverse de la probabilité que cet événement soit dépassé ou égalé chaque année (probabilité au dépassement). Par exemple, un débit dont la récurrence est de 100 ans est un débit dont la probabilité au dépassement est de 0,01 (1 : 100). À noter que le MELCCFP désire remplacer ce terme par celui de probabilité annuelle au dépassement défini plus haut.
Réponse hydrologique	Réaction d'un bassin versant lors d'événements climatiques comme la pluie ou la sécheresse ³⁶ .
Risque	Combinaison de la probabilité d'occurrence d'un aléa et des conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables d'un milieu donné ³⁷ .
Section transversale	Profil en travers d'un cours d'eau perpendiculaire à la direction de l'écoulement.
Seuil	Barrage de faible hauteur ou simple mur construit au travers d'une rivière pour en relever le niveau ³⁸ .
Sinuosité	Rapport entre la longueur développée du cours d'eau et la longueur de la vallée dans laquelle il s'écoule ³⁹ .
Source de perturbation anthropique	Intervention humaine (action ou aménagement) ayant la capacité d'influencer le régime des crues, tant en débit qu'en niveau.

Station hydrométrique	Ensemble des instruments nécessaires à la collecte, à l'enregistrement et à la retransmission des données hydrométriques (niveau ou débit).
Style fluvial	Expression morphologique résultant de l'ajustement d'un cours d'eau aux conditions hydrologiques, sédimentaires et topographiques de son bassin versant, se manifestant par des configurations caractéristiques (rectiligne, sinueux, à méandres, en tresses, anastomosé) qui reflètent l'équilibre dynamique entre les processus d'érosion et de sédimentation ⁴⁰ .
Talweg	Ligne joignant les points les plus bas d'une vallée ou du lit d'un cours d'eau.
Terrasse fluviale	Surface plane le long d'un cours d'eau, qui est généralement située au-dessus du niveau actuel du cours d'eau. Les terrasses fluviales représentent des restes d'anciennes plaines inondables ou d'anciens lits de cours d'eau ou fonds de vallée formés lors de périodes d'érosion ou de dépôt antérieures. Elles peuvent être formées par des processus tels que l'aggradation (dépôt de sédiments) ou l'incision (érosion de sédiments) du cours d'eau au fil du temps.
Torrentialité	Phénomène caractérisé par des cours d'eau à fortes pentes (> 3 %) et ne possédant pas de plaine alluviale. Ces cours d'eau possèdent des compétences et des capacités de transport élevées ⁴¹ .
Translation des méandres	Déplacement de méandres dans la direction de l'écoulement ⁴² .
Transparence hydraulique	Aptitude d'un ouvrage ou d'un aménagement à ne pas faire obstacle aux mouvements des eaux. Ainsi, un ouvrage est dit « transparent » d'un point de vue hydraulique lorsqu'il n'amplifie pas le niveau des plus hautes eaux, ne réduit pas la zone d'expansion des crues, n'allonge pas la durée des inondations ou n'augmente pas leur étendue et n'intensifie pas la vitesse d'écoulement des eaux. Ce concept s'applique à un ouvrage existant ou à construire ⁴³ .
Tributaire	Cours d'eau qui se jette dans un autre.
Tronçon	Unité spatiale qui réfère à une partie du cours d'eau ou du réseau de drainage. Traduction du terme « reach », communément employé en géomorphologie fluviale anglo-saxonne ⁴⁴ .

Vulnérabilité	Représente une condition résultant de facteurs physiques, sociaux, économiques ou environnementaux qui prédispose les éléments exposés à la manifestation d'un aléa à subir des préjudices ou des dommages. La vulnérabilité peut notamment se subdiviser en quatre catégories : • Cadre bâti (structure et densité); • Structurelle (fonctionnalité des infrastructures essentielles); • Sécurité et mobilité des personnes; • Intrinsèque (basée sur des critères socioéconomiques)⁴⁵.
Zone inondée	Lieu géographique délimité qui a été recouvert par les eaux durant une inondation ⁴⁶ .
Zone inondable	Espace ayant une probabilité d'être occupé par l'eau d'un lac ou d'un cours d'eau en période de crue.
Zone de mobilité	Espace dans lequel le lit du cours d'eau peut se déplacer horizontalement ou verticalement en raison de différents processus physiques, dont l'érosion et la sédimentation.
Zone de mobilité court terme	Zone prédisposée à l'érosion ou aux avulsions dans un horizon de 50 ans ⁴⁷ .
Zone de mobilité long terme	Zone de mobilité maximale dans laquelle le cours d'eau pourra migrer sur un horizon de 100 ans et plus ⁴⁸ .

¹ DEMERS, S., et COLLAB. (2014). « L'hydrogéomorphologie appliquée à la gestion de l'aléa d'inondation en climat tempéré froid : l'exemple de la rivière Matane (Québec) », *Physio-Géo*, vol. 8, p. 67-88.

² MORIN, M. (2009). *Concepts de base en sécurité civile*, Québec, ministère de la Sécurité publique. Disponible au https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/securite-publique/publications-adm/publications-secteurs/securite-civile/activites-formation/sc_formation_concepts_base.pdf.

³ JOBIN, J. D., P. LAJEUNESSE, C. G. RIBEIRO et S. DELISLE-THIBEAULT (2021). « Erosion and morphology of a subaqueous paleodelta terminus driven by reactivation of a Late-Quaternary landslide, Quebec City, Canada. » *Canadian Journal of Earth Sciences*, 58(10), 968-981. <https://doi.org/10.1139/cjes-2020-0160>.

⁴ OFFICE QUÉBÉCOIS DE LA LANGUE FRANÇAISE (2023). « Aufeis », dans *Grand dictionnaire terminologique*, au <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26561067/aufeis>.

-
- ⁵ BUFFIN-BÉLANGER, F., S. DEMERS et T. OLSEN (2015). *Diagnostic hydrogéomorphologique pour mieux considérer les dynamiques hydrosédimentaires aux droits des traverses de cours d'eau : guide méthodologique*, Laboratoire de géomorphologie et de dynamique fluviale, Université du Québec à Rimouski. Disponible au <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1168356.pdf>.
- ⁶ ASSOCIATION DES GESTIONNAIRES RÉGIONAUX DES COURS D'EAU DU QUÉBEC (2017). *Guide sur la gestion des cours d'eau du Québec*, Granby, 321 p.
- ⁷ RAPP, C. F. et T. B. ABBE (2003). « A framework for delineating channel migration zones », *Water Quality Program*, Washington State Department of Ecology, Publication no 03-06-027.
- ⁸ DEMERS, S., T. OLSEN, T. BUFFIN-BÉLANGER, J. P. MARCHAND, P. M. BIRON et F. MORNEAU (2014). « L'hydrogéomorphologie appliquée à la gestion de l'aléa d'inondation en climat tempéré froid : l'exemple de la rivière Matane (Québec) », *Physio-Géo*, vol. 8, p. 67-88.
- ⁹ LEOPOLD, L. B., M. G. WOLMAN et J. P. MILLER (1964). *Fluvial processes in geomorphology*, San Francisco, W.H. Freeman, 522 p.
- ¹⁰ MCPHERSON, J. G., G. SHANMUGAM et R. J. MOIOLA (1987). « Fan-deltas and braid deltas: Varieties of coarse-grained deltas », *Geological Society of America Bulletin*, vol. 99, no 3, p. 331-340.
- ¹¹ ALBERTI-DUFORT, A., ET R. DESJARDINS (2022). *Guide de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional 2022*, Québec, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, 40 p. Disponible au <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/4600691>.
- ¹² Ministère de la Sécurité publique (2008), <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26542092/element-expose#:~:text=Un%20élément%20exposé%20peut%20faire,ou%20encore%20à%20un%20écosystème>.
- ¹³ MINISTÈRE DE LA SÉCURITÉ PUBLIQUE (2016). *Embâcles et refoulements – Surveillance de la crue des eaux*. Disponible au <https://geoegl.msp.gouv.qc.ca/adnv2/embacles.php>.
- ¹⁴ HUGHES, M. L., P. F. MCDOWELL et W. A. MARCUS (2006). « Accuracy assessment of georectified aerial photographs: implications for measuring lateral channel movement in a GIS », *Geomorphology*, vol. 74, no 1-4, p. 1-16.
- ¹⁵ NEWSON, M. D., et D. SEAR (1997). « The role of geomorphology in monitoring and managing river sediment systems », *Water and Environment Journal*, vol. 11, n° 4, article 264270.
- ¹⁶ OFFICE QUÉBÉCOIS DE LA LANGUE FRANÇAISE (2023). « Hydrogramme », dans *Grand dictionnaire terminologique*, au <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26521439/hydrogramme>.
- ¹⁷ BÉRUBÉ, J., et M. BOIVIN (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 p. + annexes.
- ¹⁸ DEMERS, S., et COLLAB. (2014). « L'hydrogéomorphologie appliquée à la gestion de l'aléa d'inondation en climat tempéré froid : l'exemple de la rivière Matane (Québec) », *Physio-Géo*, vol. 8, p. 67-88.

-
- ¹⁹ OFFICE QUÉBÉCOIS DE LA LANGUE FRANÇAISE (2023). « LiDAR », dans *Grand dictionnaire terminologique*, au <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26535354/lidar>.
- ²⁰ DEMERS, S., T. OLSEN et T. BUFFIN-BÉLANGER (2018). *Développement d'une méthode hydrogéomorphologique de cartographie des zones inondables et application au bassin versant de la rivière au Saumon, Haut Saint-François, Québec*, rapport présenté au ministère de la Sécurité publique du Québec, Laboratoire de géomorphologie et dynamique fluviale, Université du Québec à Rimouski, 192 p.
- ²¹ GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (1978). *Loi sur la qualité de l'environnement*, chapitre Q-2, article 46.0.2, version 2017, Éditeur officiel du Québec. Disponible au <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/showdoc/cs/Q2>.
- ²² OFFICE QUÉBÉCOIS DE LA LANGUE FRANÇAISE (2023). « Modèle numérique de terrain », dans *Grand dictionnaire terminologique*, au <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8358821/modele-numerique-de-terrain>.
- ²³ DEMERS, S. et COLLAB. (2014). « L'hydrogéomorphologie appliquée à la gestion de l'aléa d'inondation en climat tempéré froid : l'exemple de la rivière Matane (Québec) », *Physio-Géo*, vol. 8, p. 67-88.
- ²⁴ CONGALTON, R. G. et K. GREEN (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*, CRC Press, 328 p.
- ²⁵ GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (1978). *Règlement sur les activités dans des milieux humides, hydriques et sensibles*, chapitre Q-2, r. 0.1, Éditeur officiel du Québec. Disponible au <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/Q-2,%20r.%200.1%20/>.
- ²⁶ BUFFIN-BÉLANGER, T., S. DEMERS et T. OLSEN (2015). *Diagnostic hydrogéomorphologique pour mieux considérer les dynamiques hydrosédimentaires aux droits des traverses de cours d'eau : guide méthodologique*, Laboratoire de géomorphologie et de dynamique fluviale, Université du Québec à Rimouski, 55 p. Disponible au <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1168356.pdf>.
- ²⁷ BESNARD, C. (2016). *Application et développement de l'approche hydrogéomorphologique aux plaines alluviales du Québec méridional*, Mémoire (M. Sc.), Université du Québec à Rimouski, 216 p.
- ²⁸ BALLAIS, J. L., et COLLAB. (2011). « La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables », *Physio-Géo*, vol. 5.
- ²⁹ BESNARD, C. (2016). « Géomorphologie et dynamique des cours d'eau », dans *Guide sur la gestion des cours d'eau du Québec*, Association des gestionnaires régionaux des cours d'eau du Québec, p. 62-97.
- ³⁰ VANR [VERMONT AGENCY OF NATURAL RESOURCES] (2008). *River corridor planning guide: to identify and develop river corridor protection and restoration projects*, Waterbury, Vermont, 95 p.
- ³¹ PASKOFF, R. (2010). *Les littoraux: impact des aménagements sur leur évolution*, Paris, Armand Colin, 260 p.
- ³² BIZZI, S. et D. N. LERNER (2015). « The use of stream power as an indicator of channel sensitivity to erosion and deposition processes », *River Research and Applications*, vol. 31, no 1, p. 16-27.

-
- ³³ ASPRS [AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING] (2024). « Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data », *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 90, no 3, p. 156-172.
- ³⁴ OFFICE QUÉBÉCOIS DE LA LANGUE FRANÇAISE (2023). « Recoupement de méandre », dans *Grand dictionnaire terminologique*, au <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/8982459/recoupement-de-meandre>.
- ³⁵ MALAVOI, J. R., et J. P. BRAVARD (2011). *Éléments d'hydromorphologie fluviale*, édité par l'Onema (Office national de l'eau et des milieux aquatiques), 2010, 224 p., *Physio-Géo*, vol. 5, p. 1. Disponible au <http://www.onema.fr/hydromorphologie-fluviale>.
- ³⁶ ASSOCIATION DES GESTIONNAIRES RÉGIONAUX DES COURS D'EAU DU QUÉBEC (2017). *Guide sur la gestion des cours d'eau du Québec*, Granby, 321 p.
- ³⁷ MORIN, M. (2009). *Concepts de base en sécurité civile*, Québec, ministère de la Sécurité publique. Disponible au https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/securite-publique/publications-adm/publications-secteurs/securite-civile/activites- formations/sc_formation_concepts_base.pdf.
- ³⁸ OFFICE QUÉBÉCOIS DE LA LANGUE FRANÇAISE (2023). « Seuil », dans *Grand dictionnaire terminologique*, au <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/17494177/seuil>.
- ³⁹ ROSGEN, D. L. (1994). « A classification of natural rivers », *Catena*, vol. 22, no 3, p. 169-199.
- ⁴⁰ SCHUMM, S. A. (1985). « Patterns of alluvial rivers », *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 13, no 1, p. 5-27.
- ⁴¹ BUFFIN-BÉLANGER, T., et B. HÉTU (2008). « Les risques d'inondation sur les cônes alluviaux dans l'Est du Québec », dans *Comptes rendus de la 4^e Conférence canadienne sur les géorisques : des causes à la gestion*.
- ⁴² HOOKE, J. M. (1977). « The distribution and nature of changes in river channel patterns: The example of Devon », dans K. J. Gregory (éd.), *River Channel Changes*, Chichester, John Wiley and Sons, p. 265-280.
- ⁴³ PRÉFET DE L'OISE (s. d.). *Plan de Prévention des Risques Inondation sur le bassin versant de la Verse*, France. Disponible au <https://www.oise.gouv.fr/contenu/telechargement/27453/184689/file/reglement.pdf>.
- ⁴⁴ DEMERS, S., et COLLAB. (2014). « L'hydrogéomorphologie appliquée à la gestion de l'aléa d'inondation en climat tempéré froid : l'exemple de la rivière Matane (Québec) », *Physio-Géo*, vol. 8, p. 67-88.
- ⁴⁵ TANGUY, M. (2016). *Développement d'une méthode de caractérisation et d'évaluation du risque humain lié aux inondations en milieu urbain*, Thèse (Ph. D.), Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, 429 p.
- ⁴⁶ lalanguefrancaise.com (s. d.). « Zone inondable », dans *Dictionnaire lalanguefrancaise.com*, au <https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/inondation>.
- ⁴⁷ BIRON, P., et COLLAB. (2014). « Freedom space for rivers: a sustainable approach to enhance river resilience », *Environmental Management*, vol. 54, no 5, p. 1056-1073.
- ⁴⁸ BIRON, P., T. BUFFIN-BÉLANGER, M. LAROCQUE, S. DEMERS, T. OLSEN, G. CHONÉ, M.-A. OUELLET, C.-A. CLOUTIER, C. DESJARLAIS et J. EYQUEM (2013). *Espace de liberté : un cadre de gestion intégrée pour la conservation des cours d'eau dans un contexte de changements climatiques*, rapport présenté à Ouranos, 124 p.

Annexe 2 – Acronymes

1D	Une dimension
2D	Deux dimensions
3D	Trois dimensions
BP	Bonne pratique
BV	Bassin versant
CC	Changements climatiques
CEHQ	Centre d'expertise hydrique du Québec
CGVD	Canadian Geodetic Vertical Datum
CRHQ	Cadre de référence hydrologique du Québec
DGIG	Direction générale de l'information géospatiale du MRNF
DOR	Degree of Regulation
DPEH	Direction principale de l'expertise hydrique du MELCCFP
ÉÉS	Étude d'évaluation de la sécurité (barrages)
EIV	Erreurs dans les variables (méthode statistique)
EM	Exigence méthodologique minimale
FEMA	Federal Emergency Management Agency
FP	Facteur de pointe
GDB	Geodatabase
geoTIFF	Georeferenced Tag(ged) Image Format
GES	Gaz à effet de serre
GEV	Generalized Extreme Value
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GRHQ	Géobase du réseau hydrographique du Québec
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center – River Analysis System
HGM	Hydrogéomorphologie / Hydrogéomorphologique
HNE	Heure normale de l'est de l'Amérique du Nord
IDF	Intensité-Durée-Fréquence
IDW	Inverse distance weighted (pondération inverse à la distance)
JPG	Joint Photographic Experts Group
LAS	LASer (format binaire standard permettant de stocker des données LiDAR aéroportées)
LAZ	LASzip (format LAS compressé)
LiDAR	Light Detection and Ranging
LQE	Loi sur la qualité de l'environnement
LSB	Loi sur la sécurité des barrages
MAMH	Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation

MELCCFP	Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
MNE	Modèle numérique d'élévation
MNT	Modèle numérique de terrain
MPO	Ministère des Pêches et Océans du Canada
MRC	Municipalité régionale de comté
MRNF	Ministère des Ressources naturelles et de la Forêt
MSP	Ministère de la Sécurité publique
MTM	Mercator transverse modifié
NAD	North American Datum
NME	Niveau maximal d'exploitation
OPI	Ouvrage de protection contre les inondations
PAD	Probabilité annuelle au dépassement
PAF	Plaine alluviale fonctionnelle
PANF	Plaine alluviale non fonctionnelle
PDCC	Programme de détermination des cotes de crues de récurrences de 20 et de 100 ans
PDF	Portable Document Format
PHEC	Plus hautes eaux connues
PPRLPI	Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables
PPTFI	Plan de protection du territoire face aux inondations
PRAFI	Programme de résilience et d'adaptation face aux inondations
PU	Périmètre d'urbanisation
RCI	Règlement de contrôle intérimaire
RCP	Relative Concentration Pathway
REQM	Racine de l'erreur quadratique moyenne (en anglais RMSE)
REQM _h	Racine de l'erreur quadratique moyenne horizontale
REQM _x	Racine de l'erreur quadratique moyenne en x
REQM _y	Racine de l'erreur quadratique moyenne en y
SAD	Schéma d'aménagement et de développement
SAGE	Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau
SCOPQ	Système de coordonnées planes du Québec
SCRS	Système canadien de référence spatiale
SHP	Shapefile
SI	Système international d'unité
SIG	Système d'information géographique
SPA	Source de perturbation anthropique
SSP	Shared socioeconomic pathway
TIFF	Tag(ged) Image Format

TIN	Triangular Irregular Network
UEA	Unités écologiques aquatiques
USACE	United States Army Corps of Engineers
VPP	Valeur plus probable
ZI	Zone inondable
ZIP	Zone d'inondabilité potentielle
ZIS	Zone d'intervention spéciale
ZM	Zone de mobilité
ZPRR	Zone protégée à risque résiduel

Annexe 3 – Tableau synthèse des exigences méthodologiques minimales et éléments de bonne pratique pour l'établissement des zones inondables et des zones de mobilité

Volet technique et scientifique

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
EM 2.1	Principes directeurs	Précaution	Le mandataire ou le délégataire devra appliquer le principe de précaution
EM 2.2	Principes directeurs	Futur des crues	Le mandataire ou le délégataire devra appliquer le principe de prise en compte du futur des crues, y compris l'effet projeté des changements climatiques
EM 2.3	Principes directeurs	Cohérence spatiale	Le mandataire ou le délégataire devra appliquer le principe de cohérence spatiale
EM 2.4	Principes directeurs	Combinaison des aléas	Le mandataire ou le délégataire devra être en mesure de fournir des polygones servant à la cartographie des zones inondables (en eau libre et par embâcle de glace). Il devra également fournir l'information cartographique pour désigner les zones de mobilité (à court et long terme)
EM 4.1	Morphologie des cours d'eau	Caractéristiques physiques des bassins versants et des cours d'eau	Pour établir le contexte de l'étude, le mandataire ou le délégataire devra minimalement caractériser la superficie drainée du bassin versant, l'utilisation du territoire, la pente du cours d'eau, ainsi que les caractéristiques physiques du cours d'eau qu'il juge pertinentes à intégrer au rapport technique.
EM 4.2	Morphologie des cours d'eau	Niveaux d'effort cartographique	Le mandataire ou le délégataire aura la responsabilité de répertorier et de discriminer les tronçons de cours d'eau selon deux niveaux d'effort cartographique (majeur et modéré) en fonction des enjeux d'exposition et de vulnérabilité rencontrés ainsi qu'en considérant l'aspect d'efficience dans l'attribution des efforts que générera ce choix.

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
EM 5.1	Hydrologie	Estimation d'une crue en hydrologie naturelle	Le mandataire ou le délégataire devra, dans son processus de cheminement scientifique, respecter le schéma de réalisation (ou logigramme) de l'estimation d'une crue en hydrologie naturelle.
EM 5.2	Hydrologie	Intégration des changements climatiques à l'hydrologie	Le mandataire ou le délégataire devra utiliser une chaîne de modélisation hydroclimatique pour prendre en compte l'impact des changements climatiques sur l'hydrologie. Cette chaîne doit permettre de bien couvrir l'incertitude, notamment en considérant plusieurs modèles climatiques. Le mandataire ou le délégataire devra retenir l'estimation de crue égale à la valeur médiane la plus élevée d'un scénario SSP3-7.0 ou RCP8.5 parmi toutes les périodes étudiées (état de référence et horizons futurs jusqu'à 2100). Il devra aussi considérer un scénario d'émission modérée (SSP2-4.5 ou RCP4.5) si celui-ci conduit à des crues plus élevées. Si des données de modélisation hydroclimatique utilisant les scénarios SSP sont disponibles, elles doivent être privilégiées par rapport aux scénarios RCP.
EM 5.3	Hydrologie	Intégration des changements climatiques en milieu maritime	Le mandataire ou le délégataire devra, pour toute évaluation qui implique la prise en compte du milieu maritime, considérer les variations du niveau marin relatif à l'horizon 2100. Cette évaluation doit tenir compte du rehaussement marin et de l'ajustement isostatique local et bien couvrir l'incertitude en analysant plusieurs simulations. Le rehaussement marin retenu doit être égal à une projection médiane à l'horizon 2100 selon un scénario d'émission de gaz à effet de serre élevée (SSP5-8.5, ou RCP8.5) pour lequel il aura sélectionné la médiane des simulations. Si les scénarios SSP sont disponibles, ils doivent être privilégiés par rapport aux scénarios RCP.
EM 5.4	Hydrologie	Hydrogramme de crue	Le mandataire ou le délégataire devra considérer des hydrogrammes de crue qui reproduisent le débit de pointe et le volume journalier maximal. L'hydrogramme devra avoir une forme qui permet de bien approximer le volume total de la crue en prenant en compte, notamment, une durée égale ou supérieure au temps de concentration du bassin versant.

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
EM 5.5	Hydrologie	Débit de pointe de crue	Le mandataire ou le délégataire devra considérer l'instantanéité du phénomène de crue par une analyse fréquentielle à l'aide de données infrajournalières ou par l'application d'un facteur de pointe sur une analyse fréquentielle journalière.
EM 5.6	Hydrologie	Prises en compte des données hydrométriques	Le mandataire ou le délégataire devra s'assurer de prendre en compte les données de toutes les stations hydrométriques situées à proximité qui sont représentatives de l'hydrologie actuelle du tronçon et qui ont un assez long historique depuis 1970. Toute donnée antérieure à 1970, pour être considérée, devra faire l'objet d'une analyse particulière. Le mandataire ou le délégataire devra mettre à profit dans ses analyses fréquentielles les données dont la qualité et la représentativité pour le tronçon à l'étude sont adéquates.
EM 5.7	Hydrologie	Qualité des données hydrométriques	Le mandataire ou le délégataire devra vérifier si les données observées respectent les hypothèses de bases d'une analyse fréquentielle et, dans le cas contraire, justifier leur utilisation.
EM 5.8	Hydrologie	Analyse fréquentielle à partir de chroniques hydrologiques observées	Le mandataire ou le délégataire devra procéder à une analyse fréquentielle par ajustement d'au moins deux lois statistiques et justifier le choix du meilleur ajustement ou de la pondération des lois retenues.
EM 5.9	Hydrologie	Analyse fréquentielle à partir de chroniques hydrologiques basées sur la modélisation ($\geq 100 \text{ km}^2$)	Le mandataire ou le délégataire devra, pour les tronçons non jaugés drainant plus de 100 km^2 , avoir recours à une modélisation hydrologique validée et permettant l'intégration des changements climatiques ou utiliser les résultats existants issus d'une telle modélisation, comme celle qui sous-tend les données procurées par l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional. Si l'Atlas n'est pas utilisé, les résultats obtenus devront être comparés avec celui-ci et les différences importantes devront être expliquées.
EM 5.10	Hydrologie	Analyse fréquentielle à partir de chroniques hydrologiques basées sur la modélisation ($< 100 \text{ km}^2$)	Pour les bassins versants de moins de 100 km^2 , le mandataire ou le délégataire devra avoir recours à une modélisation hydrologique validée et adaptée à cette échelle de superficie et permettant l'intégration des changements climatiques.

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
EM 5.11	Hydrologie	Sélection des approches locales, régionales et par modélisation	Le mandataire ou le délégataire devra utiliser deux approches pour faire l'estimation de crue dans le cas des tronçons à effort cartographique élevé.
EM 5.12	Hydrologie	Effet sur les débits en aval des plans d'eau naturels ou contrôlés par un ouvrage fixe	Lorsqu'un lac dont l'exutoire est naturel ou contrôlé par un ouvrage fixe se situe en amont d'un tronçon à cartographier et que la capacité de laminage de ce plan d'eau est jugée non négligeable, le mandataire ou le délégataire doit recourir à une méthode lui permettant d'estimer cet effet de laminage.
EM 5.13	Hydrologie	Embouchures	Le mandataire ou le délégataire devra, lorsque le tronçon à cartographier se jette dans un plan d'eau d'importance, réaliser une analyse conjointe entre les débits du tronçon et les niveaux du plan d'eau.
BP 5.1	Hydrologie	Effet sur les débits en aval des plans d'eau naturels ou contrôlés par un ouvrage fixe	Le mandataire ou le délégataire peut prendre en compte l'influence des plans d'eau non gérés sur un tronçon en effectuant une analyse fréquentielle avec des données observées en aval ou basée sur les séries temporelles simulées de débits en aval du plan d'eau, provenant par exemple de l'outil « Portrait » de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional, ou en réalisant une modélisation de type réservoir.
BP 5.2	Hydrologie	Confluences	Le mandataire ou le délégataire peut prendre l'enveloppe de plusieurs scénarios pour estimer les zones inondables à la confluence de plusieurs cours d'eau.
BP 5.3	Hydrologie	Gestion de l'incertitude	Le mandataire ou le délégataire pourra fournir une quantification des incertitudes associées aux estimations de crue.
EM 6.1	SPA - Barrages	Prise en compte des changements climatiques dans la délimitation des zones inondables de tronçons influencés par des sources de perturbations anthropiques	Le mandataire ou le délégataire devra prendre en compte l'impact des changements climatiques comme il est énoncé dans l'exigence minimale EM 5.2. Cet impact devra être considéré pour chacune des variables (p. ex., apports, débits sortants et niveaux) utilisées pour délimiter les zones inondables de tronçons influencés par des sources de perturbations anthropiques.

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
EM 6.2	SPA - Barrages	Influence hydrologique potentielle des barrages	Le mandataire ou le délégataire devra vérifier la présence de barrages opérés et valider leur potentiel d'influence sur le régime hydrologique en aval.
EM 6.3	SPA - Barrages	Classification des barrages potentiellement influents	Le mandataire ou le délégataire devra valider ou décider du classement des barrages opérés potentiellement influents selon leur mode d'influence en période de crue (due à leur fonctionnement ou à un effet statique du réservoir) et leur pouvoir de contribuer ou non à un effort d'atténuation des crues.
EM 6.4	SPA - Barrages	Prise en compte de l'effet hydrologique des barrages	Le mandataire ou le délégataire devra prendre en compte l'effet hydrologique des barrages opérés recensés, selon leur potentiel d'influence et leur classement, dans la délimitation de la zone inondable des tronçons situés en aval.
EM 6.5	SPA - Barrages	Utilisation des données hydrométriques en hydrologie influencée par des barrages	Si l'approche choisie implique l'utilisation de données observées en aval de barrages opérés influents ou de données hydrométriques influencées par l'opération des barrages, le mandataire ou le délégataire devra s'assurer que l'historique d'observation choisi est représentatif des règles de gestion en vigueur.
EM 6.6	SPA - Barrages	Utilisation des résultats d'une étude de laminage existante en hydrologie influencée par des barrages	Si l'approche choisie implique l'utilisation de résultats d'une étude de laminage existante d'un barrage, le mandataire ou le délégataire devra s'assurer que l'étude de laminage existante : 1) représente le plan de gestion actuel ou un plan de gestion en planification à court terme; 2) considère les modifications structurales récentes de l'ouvrage susceptibles d'influencer sa gestion; 3) couvre les PAD prévues pour la cartographie de zones inondables ou du moins un spectre de PAD permettant de les déduire.
EM 6.7	SPA - Barrages	Influence hydrologique potentielle des barrages	Le mandataire ou le délégataire devra prendre en compte l'effet hydrologique des barrages non opérés recensés, selon leur potentiel d'influence, dans la délimitation de la zone inondable des tronçons situés en aval.

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
BP 6.1	SPA - Autres	Hydrologie urbaine	À moins que le mandataire ou le délégataire ne dispose d'informations quantifiées attestant du fonctionnement et de la pérennité opérationnelle des mesures de gestion des eaux pluviales en présence, il lui est recommandé d'évaluer les débits de crue issus des secteurs urbanisés sans prendre en considération les conséquences sur les cours d'eau des effets atténuateurs de crue découlant de ces mesures de gestion des eaux pluviales.
EM 7.1	Hydraulique	Schéma de réalisation	Le mandataire ou le délégataire devra, dans son processus de cheminement scientifique, respecter le schéma de réalisation dans la démarche pour le volet simulations hydrodynamiques.
EM 7.2	Hydraulique	Modèle hydrodynamique	Le mandataire ou le délégataire devra utiliser un modèle hydrodynamique 1D, 1D-2D ou 2D reconnu pour établir les zones inondables.
EM 7.3	Hydraulique	Régime d'écoulement	Le mandataire ou le délégataire devra, dans son processus de cheminement scientifique, adapter le régime d'écoulement des modèles hydrodynamiques de manière à représenter de façon réaliste l'étendue des zones inondables.
EM 7.4	Hydraulique	Limites du domaine de modélisation	Le mandataire ou le délégataire devra établir les limites du domaine de modélisation du modèle hydrodynamique. Celles-ci doivent être situées à des emplacements adéquats pour l'arrimage avec un secteur adjacent, soit principalement hors d'une plaine inondable d'importance.
EM 7.5	Hydraulique	Bathymétrie Effort majeur	Le mandataire ou le délégataire devra intégrer la bathymétrie dans l'élaboration du modèle hydrodynamique.
EM 7.6	Hydraulique	Structures Effort majeur	Le mandataire ou le délégataire devra intégrer les structures (ponts, barrages, seuils, etc.) dans la modélisation hydrodynamique lorsqu'elles influencent de manière notable les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement.

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
EM 7.7	Hydraulique	Bathymétrie Effort modéré	Le mandataire ou le délégataire devra construire un modèle hydrodynamique qui intègre minimalement une approximation de la bathymétrie. Celle-ci devra être élaborée à l'aide d'une méthode structurée permettant de reconstituer un fond de lit mineur suffisamment réaliste pour reproduire de manière cohérente un profil de surface de l'eau documenté qui correspond à un débit estimé.
EM 7.8	Hydraulique	Structures Effort modéré	Le mandataire ou le délégataire devra minimalement évaluer l'impact des structures hydrauliques sur l'écoulement (ponts, barrages, seuils, etc.) avec une approximation de leur géométrie dans la modélisation hydrodynamique lorsqu'elles influencent de manière notable les niveaux d'eau et les vitesses d'écoulement.
EM 7.9	Hydraulique	Cibles de calage Effort majeur	Le mandataire ou le délégataire devra respecter la cible générale de calage de ± 150 mm, et ce, pour chaque événement de crue utilisé pour le calage. Il devra également s'assurer d'éliminer tout biais systématique. Toutefois, il pourra moduler les cibles de calage en fonction des particularités du cours d'eau et en justifiant ses choix méthodologiques (p. ex., un cours d'eau peu pentu devrait avoir des cibles de calage plus restrictives).
EM 7.10	Hydraulique	Événements de calage Effort majeur	Le mandataire ou le délégataire devra utiliser un minimum de deux événements de crue documentés (mesures de débit et de niveaux) pour réaliser le calage d'un modèle hydrodynamique. Les deux événements doivent être indépendants et ne doivent pas être de la même intensité.
EM 7.11	Hydraulique	Événements de calage Effort modéré	Le mandataire ou le délégataire devra reproduire un profil de la surface de l'eau observé dans le cadre de la méthode d'approximation de la bathymétrie. Cette étape fait office de calage pour ce type d'effort cartographique.
EM 7.12	Hydraulique	Extrants de simulations	Le mandataire ou le délégataire devra réaliser les simulations hydrodynamiques pour les débits de crue ayant des PAD de 5 %, 1 % et 0,3 %.

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
EM 7.13	Hydraulique	Apports latéraux	Le mandataire ou le délégataire devra considérer les apports latéraux dans les simulations du modèle hydrodynamique.
EM 7.14	Hydraulique	Embouchures	Le mandataire ou le délégataire devra simuler des combinaisons de débits et de niveaux en aval réalistes pour le cas d'une embouchure qui donne sur un plan d'eau d'importance. En conformité avec les exigences en hydrologie, les combinaisons de débits et de niveaux doivent engendrer des conditions correspondant aux récurrences à cartographier.
EM 7.15	Hydraulique	Confluences	Le mandataire ou le délégataire devra simuler des combinaisons de débits réalistes venant des cours d'eau à cartographier aux confluences. En conformité avec les exigences en hydrologie, les combinaisons de débits doivent engendrer des conditions correspondant aux récurrences à cartographier pour chacun des cours d'eau de la confluence.
EM 7.16	Hydraulique	Combinaison des scénarios de simulations	Le mandataire ou le délégataire devra retenir les niveaux et les étendues d'inondation maximums (enveloppe maximale) lorsque plusieurs simulations sont effectuées pour tenir compte de conditions aux limites différentes, mais ayant la même probabilité de survenir (p. ex., embouchure).
EM 7.17	Hydraulique	Hydroconnectivité	Le mandataire ou le délégataire devra considérer de manière réaliste les volumes d'eau dans la zone inondable et les paramètres d'hydroconnectivité, notamment pour les infrastructures linéaires d'importance, afin de refléter la réalité de la zone inondable au-delà de l'infrastructure (p. ex., autoroute, route régionale, boulevard urbain, chemin de fer, etc.).
BP 7.1	Hydraulique	Événements de calage	Le mandataire ou le délégataire pourra considérer qu'au moins un des événements de crue doit avoir un débit supérieur à une crue de récurrence 1 : 2 ans.

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
BP 7.2	Hydraulique	Analyse de sensibilité	Le mandataire ou le délégataire pourra réaliser une analyse de sensibilité sur les débits de probabilité annuelle au dépassement de 1 % en faisant varier notamment le débit, la condition limite en aval et le coefficient de rugosité (Manning) de 20 %, ou selon le jugement professionnel.
BP 7.3	Hydraulique	Validation du modèle hydrodynamique	Le mandataire ou le délégataire pourra réaliser une validation du modèle hydrodynamique à l'aide d'un débit de crue supérieur ou inférieur aux débits ayant servi au calage.
BP 7.4	Hydraulique	Analyse des incertitudes hydrauliques	Le mandataire ou le délégataire pourra réaliser une analyse pour quantifier les incertitudes hydrauliques.
EM 8.1	OPI	Identification et caractérisation de l'ouvrage	À partir du registre des OPI, le mandataire ou le délégataire devra vérifier s'il y a présence d'OPI sur le territoire à cartographier.
EM 8.2	OPI	Cartographie des ZI en considérant la transparence hydraulique	Le mandataire ou le délégataire devra commencer par cartographier les ZI en eau libre du territoire en appliquant le principe de transparence hydraulique.
EM 8.3	OPI	Établissement de la zone protégée à risque résiduel (ZPRR)	Pour les OPI déclarés sous la responsabilité d'une municipalité par décret du gouvernement en vertu de l'article 46.0.13 de la LQE, le mandataire ou le délégataire devra déterminer et cartographier la zone protégée à risque résiduel (ZPRR) en aval de l'OPI en suivant les balises du volet cartographie réglementaire du guide méthodologique présentées au chapitre 6.

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
BP 8.1	OPI	Connaissance des OPI	À partir de sa connaissance du territoire, si le mandataire ou le délégataire considère qu'il y a présence d'un OPI non répertorié sur le territoire, il pourra consulter le Règlement sur les ouvrages de protection contre les inondations pour vérifier la conformité à la définition. Il pourra en informer la municipalité qui prendra contact avec le MELCCFP pour que cette infrastructure soit ajoutée au registre des OPI. Le mandataire ou le délégataire peut s'appuyer sur les explications et les exemples donnés dans le <i>Guide sur la réalisation des études de caractérisation et de performance des ouvrages de protection contre les inondations</i>.
EM 9.1	Hydraulique hivernale	Zone inondable par embâcle	Le mandataire ou le délégataire devra intégrer les zones d'embâcle déjà connues et réglementées pour les secteurs où elles existent. Cette cartographie délimitée par polygone peut provenir : • d'un schéma d'aménagement et de développement ou d'un règlement de contrôle intérimaire d'une MRC ou d'une communauté métropolitaine; • d'une carte publiée par le gouvernement du Québec ou approuvée dans le cadre d'une convention conclue entre le gouvernement du Québec et le gouvernement du Canada relativement à la cartographie et à la protection des zones inondables. Une détermination contemporaine des zones d'inondation par embâcle peut aussi remplacer une zone existante lorsqu'elle répond aux exigences méthodologiques.
BP 9.1	Hydraulique hivernale	Secteurs à prédisposition d'embâcles	Une caractérisation des secteurs à prédisposition d'embâcles pourra être réalisée à des fins informatives.
BP 9.2	Hydraulique hivernale	Données hydrauliques hivernales	Pour les secteurs à effort cartographique majeur avec historique d'embâcles ou prédisposition connue aux embâcles, le mandataire ou le délégataire est invité à documenter, en consultant les archives, les bases de données et tout indicateur sur le terrain, tous les éléments se rapportant à l'hydraulique hivernale.

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
EM 10.1	Mobilité	Schéma de réalisation de l'approche HGM	Le mandataire ou le délégataire devra, dans son processus de cheminement scientifique, respecter le schéma de réalisation de l'approche HGM dans la démarche de cartographie de l'aléa « mobilité ».
EM 10.2	Mobilité	Identification des unités de paysage	Le mandataire ou le délégataire devra cartographier les unités de paysage associées aux cônes alluviaux et aux deltas.
EM 10.3	Mobilité	Styles fluviaux	Le mandataire ou le délégataire devra déterminer les styles fluviaux pour chaque tronçon homogène.
EM 10.4	Mobilité	Validation de la mobilité sur le terrain	Le mandataire ou le délégataire devra effectuer des observations et des mesures sur le terrain afin de valider le travail d'interprétation ainsi que les analyses HGM effectuées par géo-interprétation, telles la présence ou l'absence de mobilité.
EM 10.5	Mobilité	Mobilité court terme	Le mandataire ou le délégataire devra déterminer les zones de mobilité court terme.
EM 10.6	Mobilité	Ouvrages de stabilisation des berges	Le mandataire ou le délégataire, lorsqu'un ouvrage de stabilisation est repéré, devra le cartographier et l'intégrer à la cartographie de la mobilité court terme.
EM 10.7	Mobilité	Quantification de l'incertitude liée au géoréférencement	Le mandataire ou le délégataire devra quantifier l'incertitude liée au géoréférencement afin d'intégrer cette incertitude aux ZM court terme et long terme sous forme de marge de sécurité.
EM 10.8	Mobilité	Mobilité long terme	Le mandataire ou le délégataire devra déterminer les zones de mobilité long terme.
BP 10.1	Mobilité	Analyse des incertitudes HGM	Le mandataire ou le délégataire pourra documenter et prendre en compte toutes les sources d'incertitude lors de la réalisation de la cartographie de l'aléa « mobilité » comme élément de bonne pratique.

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
BP 10.2	Mobilité	Plaine alluviale fonctionnelle	Le mandataire ou le délégataire pourra cartographier la plaine alluviale fonctionnelle afin de circonscrire les limites à l'intérieur desquelles peuvent survenir des aléas fluviaux dans le futur.
EM 11.1	Gestion des données géospatiales	Format de champ de données	Le mandataire ou le délégataire devra respecter les formats des champs de données pour les éléments de date et d'heure, de nombre et d'unités et de valeurs inconnues ou non applicables.
EM 11.2	Gestion des données géospatiales	Formats des données matricielles	Le mandataire ou le délégataire devra livrer les éléments matriciels utilisés dans le présent mandat et acquis par ses propres moyens dans les formats demandés.
EM 11.3	Gestion des données géospatiales	Format des données vectorielles	Le mandataire ou le délégataire devra livrer les éléments vectoriels, utilisés dans le présent mandat et acquis par ses propres moyens, dans les formats demandés, soit shapefile, géodatabase, géopackage, LAS ou LAZ.
EM 11.4	Gestion des données géospatiales	Nomenclature des fichiers	Le mandataire ou le délégataire devra respecter la nomenclature des fichiers telle qu'elle est présentée dans le référentiel des données.
EM 11.5	Gestion des données géospatiales	Référentiels altimétriques et planimétriques	Le mandataire ou le délégataire devra se conformer aux référentiels altimétriques et planimétriques déterminés par le MELCCFP afin d'assurer une cohérence cartographique sur l'ensemble du territoire.
EM 11.6	Gestion des données géospatiales	Description et structure des données acquises sur le terrain	Le mandataire ou le délégataire devra se conformer à la description et à la structure des fichiers de données brutes, telles que : 1) les jaugeages; 2) les relevés des lignes d'eau; 3) les relevés bathymétriques; 4) les relevés des infrastructures (p. ex., pont). Pour chacun de ces relevés, des photos ou des vidéos peuvent être demandées. Ces relevés doivent respecter les gabarits fournis par le MELCCFP et être regroupés par bassin versant.

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
EM 11.7	Gestion des données géospatiales	Description et structure des données LiDAR terrestre et topobathymétrique	Le mandataire ou le délégataire devra se conformer à la description et à la structure des fichiers de données LiDAR terrestre et topobathymétrique fournis par le ministère des Ressources naturelles et des Forêts (MRNF).
EM 11.8	Gestion des données géospatiales	Modèle numérique de terrain (MNT)	Le mandataire ou le délégataire devra produire un MNT utilisant des données topographiques à haute résolution (LiDAR, photogrammétrie).
EM 11.9	Gestion des données géospatiales	Validation de la classe « eau »	Le mandataire ou le délégataire devra valider les points LiDAR qui se trouvent à la surface de l'eau et classer au besoin dans la classe « eau ».
EM 11.10	Gestion des données géospatiales	Création de la bathymétrie du cours d'eau	Le mandataire ou le délégataire devra produire la bathymétrie du cours d'eau. Cette dernière présentera la réalité sur le terrain.
BP 11.1	Gestion des données géospatiales	Localisation des ponts et ponceaux	Le mandataire ou le délégataire pourra localiser les ponts et les ponceaux qui croisent les cours d'eau et les affluents et corriger l'élévation afin de permettre la circulation de l'eau de la zone d'étude selon le principe d'hydroconnectivité.
BP 11.2	Gestion des données géospatiales	Traitement des incertitudes	Le mandataire ou le délégataire pourra fournir la source d'incertitude des données produites pour ensuite la qualifier et la quantifier afin de déterminer les implications et les limitations qu'elle aura sur le livrable cartographique.

Volet cartographie réglementaire

N°	Thématique	Enjeux	Libellé de l'exigence minimale ou de la bonne pratique
EM 8.1	Cartographie	Traitement des îlots	Le mandataire ou le délégataire devra éliminer les îlots et remplir les trous de moins de 100 m ² des zones inondables.
EM 8.2	Cartographie	Généralisation des données vectorielles	Le mandataire ou le délégataire devra généraliser les résultats, et ce, pour chacun des polygones.
EM 8.3	Cartographie	Ajout des objectifs de protection	Le mandataire ou le délégataire devra intégrer les objectifs de protection au référentiel de données de la cartographie des ZI en eau libre lorsque disponibles.

Annexe 4 – Liste provisoire des barrages influents (mai 2025)

Annexe 4.1 Barrages de Classe 1

N° barrage	Nom barrage	Bassin versant	Classement
X0002572	Aylmer, Barrage	Saint-François, Rivière	Classe 1
X0003925	Jules-Allard, Barrage	Saint-François, Rivière	Classe 1
X0000543	Mitis, Barrage	Mitis, Rivière	Classe 1
X0000810	Île-Sainte-Anne, Barrage de l'	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0000811	L'Isle-Maligne, Barrage de	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0000813	L'Isle-Maligne-3, Évacuateur de	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0000814	L'Isle-Maligne-4, Évacuateur de	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0001640	Cyrille-Delage, Barrage	Saint-Charles, Rivière	Classe 1
X0002126	Saint-Narcisse, Barrage de	Batiscan, Rivière	Classe 1
X0001828	Inconnu	Portneuf, Rivière	Classe 1
X0002325	Rapide-Blanc, Barrage de	Saint-Maurice, Rivière	Classe 1
X0002329	Trenche, Barrage de la	Saint-Maurice, Rivière	Classe 1
X0002448	Gouin, Barrage	Saint-Maurice, Rivière	Classe 1
X0002996	Quinze, Barrage des	Outaouais, Rivière des	Classe 1
X0003101	Bourque, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 1
X0003170	Inconnu	Chasse, Rivière à la	Classe 1
X0003174	Barrage lac Malfait	Anglais, Rivière aux	Classe 1
X0003975	Grand-Moulin, Barrage du	Archipel MTL	Classe 1
X0005811	Chambly, Barrage de	Richelieu, Rivière	Classe 1
X2009975	Inconnu	Petites Bergeronnes, Rivière des	Classe 1

N° barrage	Nom barrage	Bassin versant	Classement
X2009976	Inconnu	Petites Bergeronnes, Rivière des	Classe 1
X0003046	Inconnu	Moose, Rivière	Classe 1
X0003212	Outardes-4, Évacuateur aux	Outardes, Rivière aux	Classe 1
X0000899	Portage-des-Roches, Barrage de	Chicoutimi, Rivière	Classe 1
X0000937	Pibrac-Est, Barrage	Chicoutimi, Rivière	Classe 1
X0000730	Morin, Barrage	Loup, Rivière du (02)	Classe 1
X0002894	Hubert-Tremblay, Barrage	Gatineau, Rivière	Classe 1
X0002921	Cabonga, Barrage	Gatineau, Rivière	Classe 1
X0005473	Mercier, Barrage	Gatineau, Rivière	Classe 1
X0002992	Kipawa, Barrage de	Outaouais, Rivière des	Classe 1
X0003027	Laniel, Barrage de	Outaouais, Rivière des	Classe 1
X0005424	Rapides-des-Cèdres, Barrage des	Lièvre, Rivière du	Classe 1
X0005460	Kiamika, Barrage	Lièvre, Rivière du	Classe 1
X0005502	Brodrick, Barrage	Lièvre, Rivière du	Classe 1
X0005503	Mitchinamecus, Barrage	Lièvre, Rivière du	Classe 1
X0000662	Témiscouata, Barrage	Saint-Jean, Rivière	Classe 1
X0002729	Memphrémagog, Barrage du	Saint-François, Rivière	Classe 1
X0002400	Manouane-C, Barrage de la	Saint-Maurice, Rivière	Classe 1
X0002401	Manouane-B, Barrage de la	Saint-Maurice, Rivière	Classe 1
X0004500	Manouane-A, Barrage de la	Saint-Maurice, Rivière	Classe 1
X0004459	Matawin, Barrage	Saint-Maurice, Rivière	Classe 1
X0001971	Mékinac, Barrage	Saint-Maurice, Rivière	Classe 1

N° barrage	Nom barrage	Bassin versant	Classement
X0007121	Mistigouèche, Barrage	Mitis, Rivière	Classe 1
X0004973	Masson, Barrage	Nord, Rivière du	Classe 1
X0004341	Inconnu	L'Assomption, Rivière	Classe 1
X0007969	Inconnu	L'Assomption, Rivière	Classe 1
X0000748	Commissaires, Barrage des	Ouiatchouan, Rivière	Classe 1
X0000787	Passes-Dangereuses, Barrage des	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0000833	Chute-du-Diable, Barrage de la	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0000840	Chute-à-la-Savane, Barrage de la	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0001033	Manouane, Barrage de	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0001038	Bonnard, Évacuateur	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0005410	Chapleau, Barrage	Rouge, Rivière	Classe 1
X0000939	Pibrac-Ouest, Barrage	Sables, Rivière aux	Classe 1
X0002597	Bombardier, Barrage	Saint-François, Rivière	Classe 1
X0002730	Stukely, Barrage	Saint-François, Rivière	Classe 1
X0000979	Adam-Cunningham, Barrage	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0000981	Betsy, Barrage	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0000983	Chute-aux-Galets, Barrage de la	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0001044	Onatchiway, Barrage	Saguenay, Rivière	Classe 1
X0002327	Carpe-Rouge, Barrage	Saint-Maurice, Rivière	Classe 1
X0005756	Choinière, Barrage	Yamaska, Rivière	Classe 1

Annexe 4.2 Barrages de Classe 2

No barrage	Nom barrage	Bassin versant	Classement
X0002574	Weedon, Barrage de	Saint-François, Rivière	Classe 2
X0000517	Lac-Matane, Barrage du	Matane, Rivière	Classe 2
X0001376	Jacques-Cartier, Barrage	Jacques-Cartier, Rivière	Classe 2
X0001574	Sainte-Anne, Barrage	Sainte-Anne, Rivière	Classe 2
X0002430	Mégiscane, Barrage de la	Saint-Maurice, Rivière	Classe 2
X0002489	Mégantic, Barrage	Chaudière, Rivière	Classe 2
X0003009	Rapides-des-Quinze, Évacuateur auxiliaire des	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0003056	Rapide-Deux, Barrage de	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0003057	Rapide-7, Barrage de	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0003139	Inconnu	Escoumins, Rivière des	Classe 2
X0003150	Inconnu	Sault aux Cochons, Rivière du	Classe 2
X0003172	McCormick, Centrale	Manicouagan, Rivière	Classe 2
X0003175	Rivière-aux-Anglais, Barrage de la	Anglais, Rivière aux	Classe 2
X0003176	Barrage du lac Castelneau	Chasse, Rivière à la	Classe 2
X0003204	Inconnu	Franquelin, Rivière	Classe 2
X0003592	Inconnu	York, Rivière	Classe 2
X0003640	Inconnu	Trois-Saumons, Rivière	Classe 2
X0005651	Inconnu	Yamaska, Rivière	Classe 2
X2114822	Inconnu	Lac de l'Aqueduc, Rivière du	Classe 2
X2148488	Inconnu	La Guerre, Rivière	Classe 2
X0007479	Écho, Barrage	Outaouais, Rivière des *	Classe 2

No barrage	Nom barrage	Bassin versant	Classement
X0003077	Susie, Barrage	Saint-Maurice, Rivière	Classe 2
X0002859	Katimavik, Barrage	Blanche, Rivière	Classe 2
X0007776	Inconnu	Blanche, Rivière	Classe 2
X0002317	Wayagamac, Barrage	Saint-Maurice, Rivière	Classe 2
X0002348	Pointe-Bostonnais, Barrage de la	Saint-Maurice, Rivière	Classe 2
X0002357	Bostonnais, Barrage	Saint-Maurice, Rivière	Classe 2
X2009629	Inconnu	Saint-François, Rivière	Classe 2
X0002942	Inconnu	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002959	Lac-Bryson, Barrage du	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002960	Inconnu	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002961	Ward, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002962	Inconnu	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002968	Inconnu	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002974	Inconnu	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002979	Gale, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002980	Lac-Giroux, Barrage du	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002981	Inconnu	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002501	Inconnu	Chaudière, Rivière	Classe 2
X0002302	Inconnu	Loup, Rivière du	Classe 2
X0001969	Inconnu	Batiscan, Rivière	Classe 2
X0002846	Rapides-Farmer, Barrage des	Gatineau, Rivière	Classe 2
X0002891	Inconnu	Gatineau, Rivière	Classe 2

No barrage	Nom barrage	Bassin versant	Classement
X0002892	Inconnu	Gatineau, Rivière	Classe 2
X0002893	Inconnu	Gatineau, Rivière	Classe 2
X0000744	Petit-Lac-Sainte-Anne, Barrage du	Ouelle, Rivière	Classe 2
X0000856	Lac-Ha! Ha!, Barrage déversoir du	Ha! Ha!, Rivière	Classe 2
X0003051	Vaudray, Barrage	Kinojévis, Rivière	Classe 2
X0003054	Inconnu	Kinojévis, Rivière	Classe 2
X0004153	Inconnu	L'Assomption, Rivière	Classe 2
X0005427	Inconnu	Lièvre, Rivière du	Classe 2
X0005429	Jean-Baptiste-Dubé, Barrage	Lièvre, Rivière du	Classe 2
X0005466	Reno, Barrage	Lièvre, Rivière du	Classe 2
X0002998	Inconnu	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002709	Lovering, Barrage	Saint-François, Rivière	Classe 2
X0000825	Inconnu	Saguenay, Rivière	Classe 2
X0002946	Moiseau, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002952	Nilgaut, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002954	Lac-Lamb, Barrage du	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002955	McCann, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002956	Saint-Patrice, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002957	Forant, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002958	Resolin, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002963	Aumond, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002964	Lynch, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2

No barrage	Nom barrage	Bassin versant	Classement
X0002970	Lac-à-la-Truite, Barrage du	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002971	McGillivray, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0005752	Inconnu	Yamaska, Rivière	Classe 2
X0007366	Surgis, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X2014158	Dontenwill, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X2014162	Inconnu	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0004974	Théodore, Barrage	Nord, Rivière du	Classe 2
X0005204	Sables, Barrage des	Nord, Rivière du	Classe 2
X0005226	Brûlé, Barrage	Nord, Rivière du	Classe 2
X0005241	Manitou, Barrage	Nord, Rivière du	Classe 2
X0007859	Inconnu	Nord, Rivière du	Classe 2
X0001439	Duchesnay, Barrage de	Jacques-Cartier, Rivière	Classe 2
X0003929	Lac-du-Huit, Barrage du	Saint-François, Rivière	Classe 2
X0007393	Lac-à-la-Truite, Barrage du	Saint-François, Rivière	Classe 2
X0004205	Rawdon, Barrage de	L'Assomption, Rivière	Classe 2
X0004319	Inconnu	L'Assomption, Rivière	Classe 2
X0007405	Inconnu	L'Assomption, Rivière	Classe 2
X0002813	Inconnu	Petite Nation, Rivière de la	Classe 2
X0002391	Cinconsine, Barrage	Saint-Maurice, Rivière	Classe 2
X0000595	Vingt-Quatre-Arpens, Barrage des	Rimouski, Rivière	Classe 2
X0003627	Therrien, Barrage	Ouelle, Rivière	Classe 2
X0004950	Inconnu	Rouge, Rivière	Classe 2

No barrage	Nom barrage	Bassin versant	Classement
X0004953	Inconnu	Rouge, Rivière	Classe 2
X0005372	Inconnu	Rouge, Rivière	Classe 2
X0005385	Lac-Tremblant, Barrage du	Rouge, Rivière	Classe 2
X0005389	Inconnu	Rouge, Rivière	Classe 2
X0005454	Inconnu	Rouge, Rivière	Classe 2
X0002303	Inconnu	Loup, Rivière du	Classe 2
X0007569	Lac-Leverrier, Barrage du	Saint-Jean, Rivière	Classe 2
X0007547	Inconnu	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0000618	Thériault, Écluse à	Trois Pistoles, Rivière des	Classe 2
X0002075	Culbute, Barrage de la	Saint-Maurice, Rivière	Classe 2
X0002123	Croix, Barrage en	Saint-Maurice, Rivière	Classe 2
X0002379	Tuque, Barrage la	Saint-Maurice, Rivière	Classe 2
X0002380	Inconnu	Saint-Maurice, Rivière	Classe 2
X0002316	Inconnu	Saint-Maurice, Rivière	Classe 2
X0002631	Lac-Boissonneault, Barrage du	Saint-François, Rivière	Classe 2
X2123775	White, Barrage	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0002994	Winneway, Barrage de	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0003013	Lac-à-la-Truite, Barrage du	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0003014	Lac-Winawash, Barrage du	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0003029	Lac-Winneway, Barrage du	Outaouais, Rivière des	Classe 2
X0005726	Abénaquis, Barrage des	Yamaska, Rivière	Classe 2
X0005737	Waterloo, Barrage de	Yamaska, Rivière	Classe 2

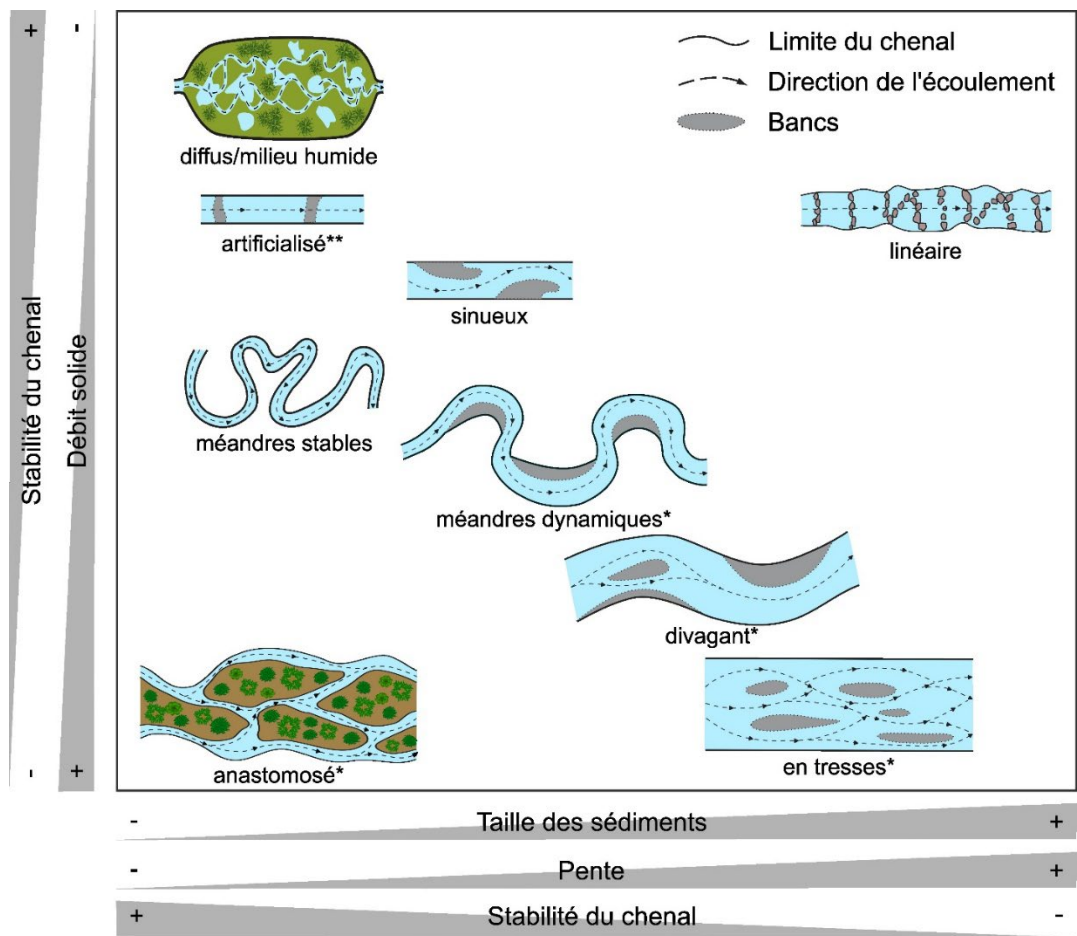
Annexe 5 – Clé d'identification des styles fluviaux

Mise en contexte

Le présent document a pour but de servir d'aide-mémoire afin de faciliter la géointerprétation des styles fluviaux. Les résultats obtenus visent à respecter les exigences minimales formulées dans le guide méthodologique applicable à l'établissement des zones inondables et de mobilité.

Aide-mémoire pour la classification des styles fluviaux

Les neuf styles fluviaux proposés pour discriminer les tronçons stables et mobiles sont diffus/milieu humide, artificialisé, sinueux, linéaire, à méandres stables, à méandres dynamiques, divagant, anastomosé et en tresses.



*Style fluvial avec potentiel de mobilité élevé; **Potentiel de mobilité à déterminer

Figure 1. Typologie des styles fluviaux
(tirée du volet technique et scientifique du guide et adaptée de Schumm, 1985, et de Pouliot et collab., 2024)

Styles fluviaux stables

Diffus/milieu humide

Le style fluvial diffus/milieu humide correspond à un type de cours d'eau lentique, c'est-à-dire dont les eaux sont stagnantes ou faiblement courantes, qui s'écoule dans des milieux humides (p. ex., tourbières minérotrophes) (figure 2). Il se caractérise par une très faible énergie (c.-à-d. énergétiquement confiné) qui se traduit par une absence d'érosion significative. Dans certains cas, un méandrage important peut être observé, de même que des méandres abandonnés. Les cours d'eau de type diffus/milieu humide se forment fréquemment en tête de bassin versant (petite superficie d'aire de drainage), dans des secteurs à pente très faible et très mal drainés. Ils n'ont généralement pas de plaine alluviale et reposent fréquemment sur des dépôts hérités de processus glaciaires et fluvioglaciaires. L'eutrophisation est très présente dans ce type de cours d'eau (Schumm, 1985; Pouliot et collab., 2024).

S'il y a présence de traces d'érosion significatives ou d'accumulation sédimentaire, un autre style est à envisager.



Figure 2. Cours d'eau de type diffus/milieu humide, bassin versant de la rivière Harricana

Linéaire

Les cours d'eau linéaires, aussi appelés seuils-mouilles ou rectilignes, ont une forme naturellement étroite et allongée, et présentent peu d'évolution sur une certaine distance (Leopold et collab., 1964) (figure 3). Ce sont des cours d'eau généralement courts, confinés par le roc ou par des dépôts grossiers peu ou non érodables, et dont la pente est abrupte. Ils se retrouvent ainsi souvent en tête de bassin versant ou dans les régions au relief plus accidenté (Mangelsdorf et collab., 1990).

En général, les cours d'eau linéaires sont des zones de transport (ils sont situés en tête de bassin versant, ordre de Stralher 1 et 2) et ne présentent visuellement pas de zones de déposition (bancs alluviaux) ni d'érosion puisqu'ils sont très peu mobiles latéralement (Boivin et collab., 2019). Le lit est ainsi souvent formé de galets ou de blocs. Ce type de cours d'eau est aussi caractérisé par la présence de rapides, de cascades ou de chutes (seuils ou step) suivie de zones plus calmes (mouilles ou pools).

De nombreux ruisseaux et torrents montagneux sont classés dans cette catégorie, en plus des cours d'eau qui se forment par incision du talweg dans la roche encaissante, tels que les gorges, les canyons et les ravins (Mangelsdorf et collab., 1990).

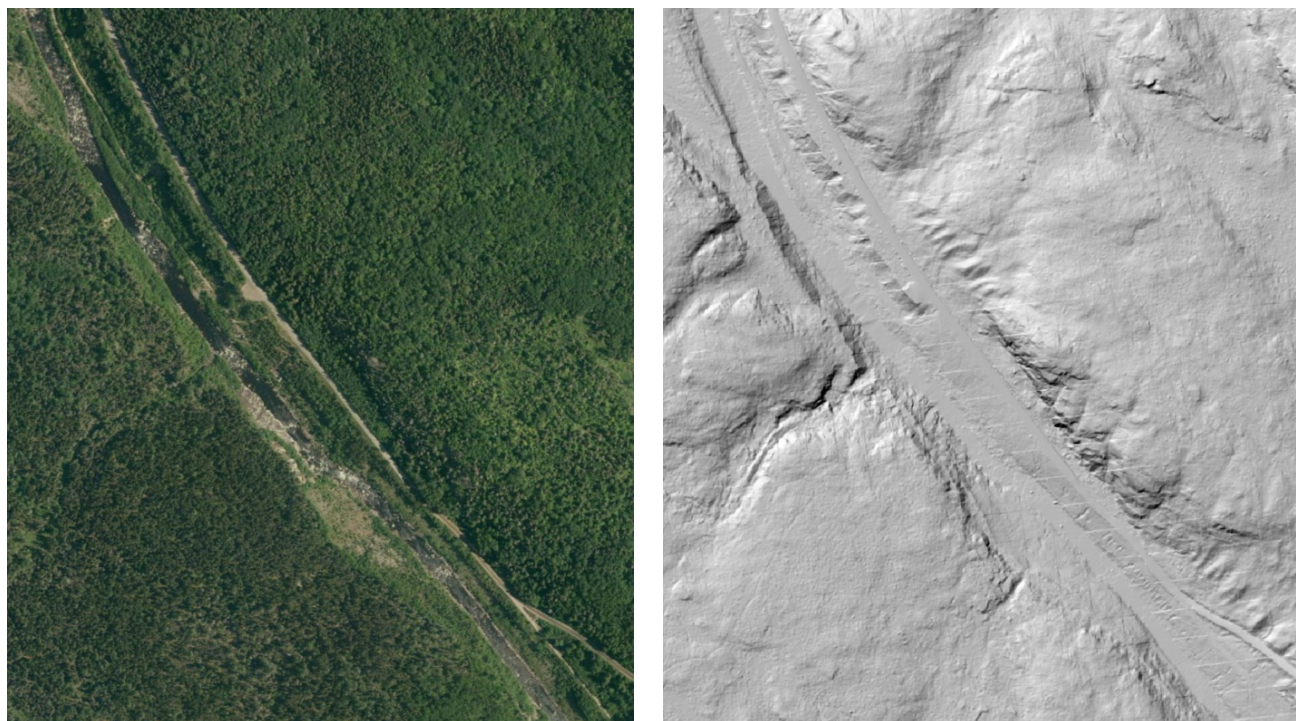


Figure 3. Cours d'eau linéaire, bassin versant de la rivière Ha! Ha!

Sinueux

Les cours d'eau sinueux sont un style de transition entre les cours d'eau linéaires et à méandres (figure 4). Un style sinueux présente un indice de sinuosité (IS)¹ supérieur à 1,05 et inférieur à 1,5 (Malavoi et Bravard, 2010). Contrairement aux rivières à méandres, qui sont souvent profondes et étroites, les cours d'eau sinueux présentent généralement un rapport largeur/profondeur plus élevé (Malavoi et Bravard, 2010). Le style sinueux se caractérise par une alternance de seuils et de mouilles et peut présenter des bancs latéraux. Les berges sont généralement végétalisées et présentent peu ou pas de traces d'érosion.



Figure 4. Cours d'eau sinueux, bassin versant de la rivière Yamaska

Méandres stables

Les cours d'eau à méandres stables présentent un lit étroit et profond. Le transport sédimentaire est principalement en suspension ou en solution. Peu de sédiments grossiers y sont transportés. Ces cours d'eau sont très sinueux ($IS \geq 1,5$) et la largeur du chenal est généralement constante sur un même tronçon (Schumm, 1985) (figure 5).

Visuellement, les cours d'eau à méandres stables ne présentent pas de zones de sédimentation (bancs alluviaux) en berge convexe. Sur la rive concave, les berges sont stabilisées et ne présentent pas de traces d'érosion (Boivin et collab., 2019). Les rivières à méandres stables sont présentes principalement dans les dépôts meubles fins, tels que les dépôts marins ou lacustres d'eau profonde, favorables à l'agriculture. L'anthropisation de ce type de cours

¹ La méthode « classique » mesure la seconde longueur en passant par l'axe principal d'orientation du cours d'eau, soit sensiblement l'axe moyen de l'enveloppe de méandrage (Malavoi et Bravard, 2010).

d'eau est donc très fréquente. Les recoupements de méandres sont possibles, toutefois ces processus sont très rares pour ce type de cours d'eau et se produisent très lentement. La cohésion des berges ralentit la migration latérale, laquelle n'est donc pas observable (Boivin et collab., 2019).



Figure 5. Méandres stables, bassin versant de la rivière Yamaska

Styles fluviaux mobiles

Méandres dynamiques

Les méandres dynamiques se caractérisent par une forte sinuosité ($IS \geq 1,5$) (figure 6). Le transport sédimentaire est généralement important et principalement composé de matériel meuble et grossier (sables et graviers). La présence de bancs d'accumulation sur les rives convexes et des berges en érosion sur les rives concaves est caractéristique de ce style fluvial (Boivin et collab., 2019).

Ces cours d'eau présentent souvent un lit profond et étroit, qui s'élargit au niveau de l'apex des méandres. Ils se déplacent dans la plaine alluviale selon deux principaux processus : 1) par migration latérale lorsque le matériel encaissant est assez meuble pour être érodé (p. ex., sables et graviers); 2) par recoupement de méandres, un phénomène qui se produit lorsqu'une boucle séparant deux méandres devient suffisamment mince pour être entièrement érodée, ce qui entraîne la création d'un méandre abandonné et un nouveau tracé du cours d'eau. Ce processus est très commun dans les rivières à méandres dynamiques, c'est pourquoi les méandres abandonnés sont fréquents dans la plaine alluviale (Boivin et collab., 2019).

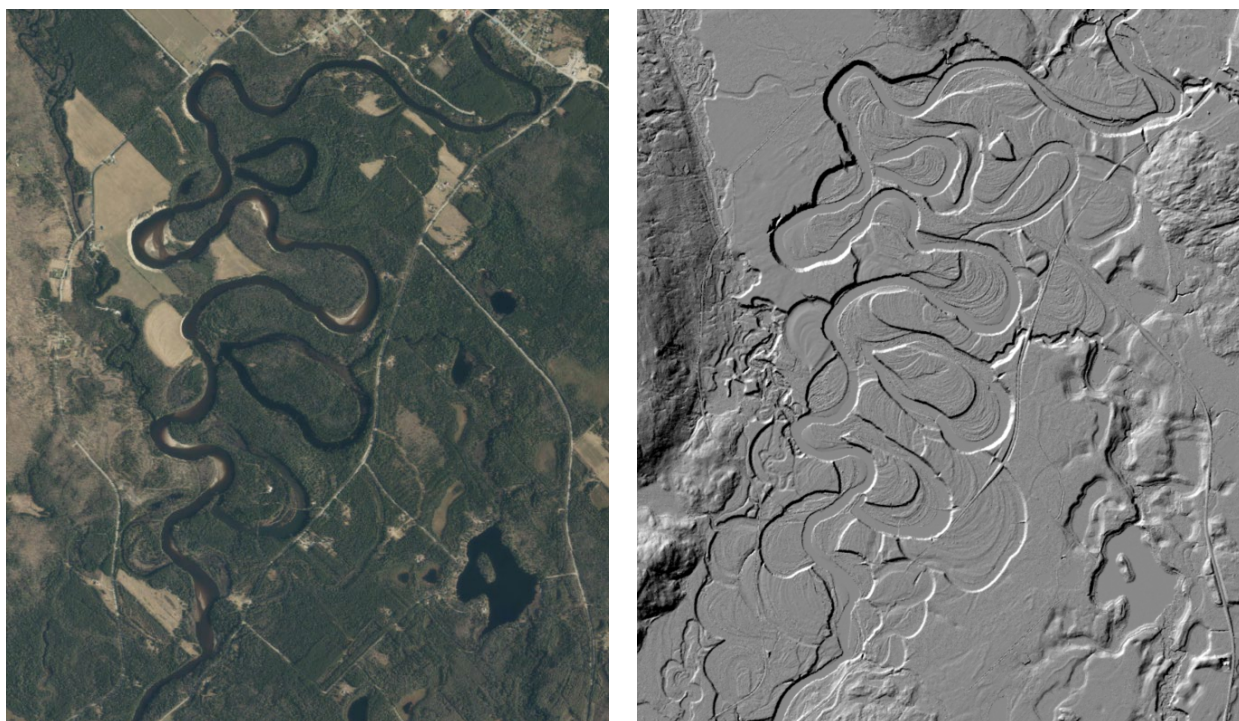


Figure 6. Méandres dynamiques, bassin versant de la rivière Rouge.

Divagant

Les cours d'eau divagants (*wandering*, en anglais) sont caractérisés par un transport solide excédentaire (aggradation), dont le sable, le gravier et les galets en représentent une part considérable. Leur charge sédimentaire est plus grossière que celle des cours d'eau à méandres dynamiques (Degoutte, 2012), mais elle se compose tout de même de sédiments meubles peu cohésifs.

Visuellement, ce style de cours d'eau semble hésiter entre différents parcours. Il présente un dynamisme marqué et une alternance entre des segments en tresses (à plusieurs chenaux) et des segments sinueux (un seul chenal) (figure 7). Le cours d'eau divagant présente un rapport largeur/profondeur élevé. Le chenal principal est large et des chenaux secondaires sont souvent présents et utilisés en alternance, notamment lorsque des avulsions se produisent (Malavoi et Bravard, 2010). Des îlots végétalisés peuvent se former.

Les cours d'eau divagants ont généralement un indice de sinuosité plus faible que les cours d'eau à méandres dynamiques. Ils sont caractérisés par de nombreux processus géomorphologiques difficiles à prévoir (Boivin et collab., 2019), tels que les avulsions, les recoupements de méandres, la migration latérale et l'érosion des berges.



Figure 7. Cours d'eau divagant, bassin versant de la rivière Saint-François

En tresses

Les rivières en tresses sont caractérisées par la présence d'une charge sédimentaire surabondante (graviers ou sables grossiers), d'une pente élevée et de multiples talwegs très mobiles dans l'espace et le temps (figure 8). Dans ces cours d'eau peu profonds, on distingue des bancs alluviaux, contenus dans un chenal principal, ainsi que plusieurs chenaux secondaires qui présentent généralement un rapport largeur/profondeur élevé (100 et plus). Le coefficient de sinuosité est moindre que celui des rivières divagantes. Le lit mineur des rivières en tresses consiste en un large corridor presque toujours rectiligne ($IS < 1,1$), mais les chenaux secondaires peuvent aller de sinueux à très sinueux (Malavoi et Bravard, 2010). Le développement de ce style fluvial est favorisé par l'érodabilité des berges, qui permet le déplacement et l'avulsion des chenaux, le type de mobilité le plus couramment observé, en plus d'introduire un apport sédimentaire supplémentaire qui accentue la formation des bancs alluviaux (Terrier et collab., 2019).

Les bancs sont très peu ou pas végétalisés puisque les chenaux sont dynamiques et en constante modification; la végétation qui se développe sur les bancs est régulièrement arrachée lors des crues (Malavoi et collab., 1998). Les rivières en tresses sont en effet caractérisées par une grande variabilité du débit. En raison de ces importantes

fluctuations, les chenaux se retrouvent constamment en alternance entre l'aggradation et la dégradation, ce qui limite l'installation d'un couvert végétal (Summerfield, 1991).



Figure 8. Cours d'eau en tresses, rivière Jupiter, île d'Anticosti

Anastomosé

Les cours d'eau anastomosés peuvent être confondus avec les rivières en tresses. Toutefois, contrairement au tressage qui est formé de talwegs multiples et instables, le style anastomosé est caractérisé par de nombreux chenaux stables, étroits et profonds (figure 9). Ces cours d'eau présentent un rapport largeur/profondeur des chenaux faible et une pente peu abrupte. On y retrouve des îlots végétalisés de taille importante par rapport à celle des chenaux, ainsi que des anabranches ou diffluences (chenal fluvial qui diverge du lit principal) et des levées. Derrière ces levées peuvent se développer des milieux humides alimentés par les eaux de crues lorsque des brèches se produisent (Malavoi et Bravard, 2010). La charge de fond est peu abondante et la granulométrie est à dominance fine puisque la puissance de ces cours d'eau est faible. Les berges et les îles sont donc stables et cohésives (Malavoi et Bravard, 2010). Le style fluvial anastomosé est fréquemment rencontré en aval des bassins versants, notamment dans les embouchures ou les deltas (Malavoi et Bravard, 2010).



Figure 9. Cours d'eau anastomosé, bassin versant de la rivière Saint-François

Style fluvial à déterminer

Artificialisé

Les cours d'eau artificialisés sont présents dans les milieux fortement anthropisés, par exemple en zones agricoles ou urbaines. Ce style est aussi appelé, en fonction de l'intervention, « rectifié » ou « linéarisé ». Il est caractérisé par une apparence très rectiligne, que l'on ne retrouve pas dans les cours d'eau à l'état naturel (figure 10). Cependant, l'apparence des tronçons artificialisés ne correspond pas toujours à leur style fluvial d'origine et ne représentera pas le réel potentiel de mobilité. L'ancien tracé du cours d'eau peut être visible de part et d'autre du segment linéarisé (figure 11). Toutefois, pour certains cours d'eau aménagés il y a plusieurs décennies, aucune trace du style fluvial d'origine n'est visible.

Leur nature peut avoir été complètement créée (fossé agricole, canal, etc.) ou altérée (linéarisation, reprofilage, remblayage) par l'homme pour ses besoins. Tous les cours d'eau ayant subi une intervention humaine majeure et dominante sur un tronçon doivent être catégorisés comme « artificialisés ». Ce style est généralement considéré comme peu actif sur le plan géomorphologique, mais une attention particulière doit être portée au cas par cas afin de déterminer subséquemment le potentiel de mobilité de ces cours d'eau.

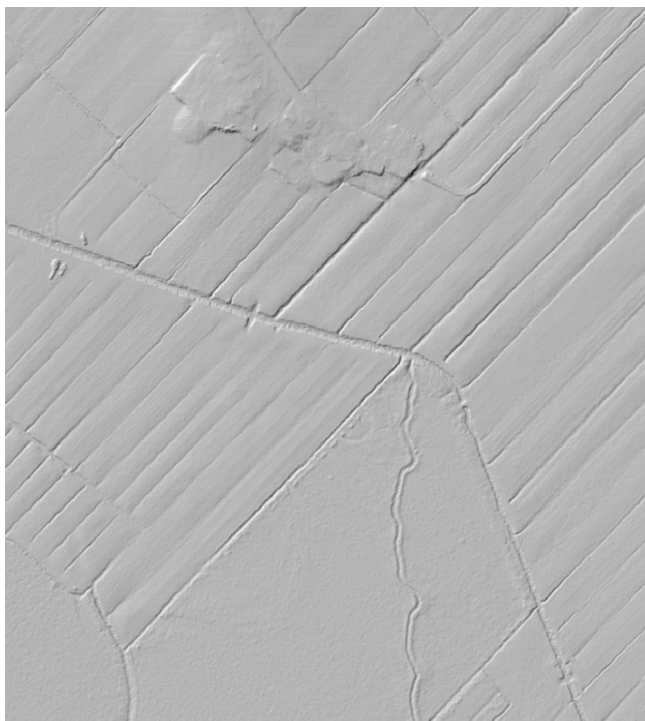
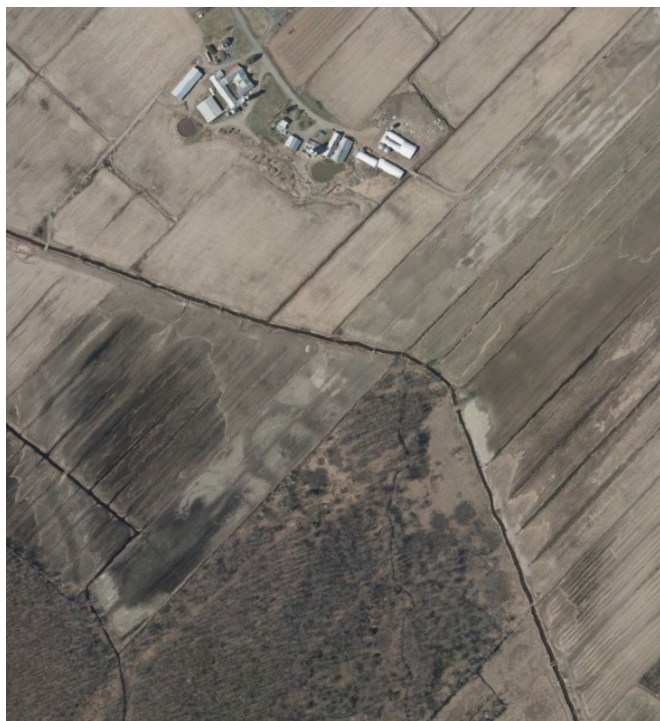


Figure 10. Cours d'eau artificialisé, bassin versant de la rivière Saint-François



Figure 11. Cours d'eau artificialisé, bassin versant de la rivière Yamaska, avec présence de l'ancien tracé du cours d'eau dans la plaine alluviale

Références

- BOIVIN, M., M. MALTAIS ET T. BUFFIN-BÉLANGER (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.
- DEGOUTTE, G. (2012). *Diagnostic, aménagement et gestion des rivières : Hydraulique et morphologie fluviale appliquées*, Paris, Éditions Lavoisier, 542 p.
- LEOPOLD, L. B., M. G. WOLMAN ET J. P. MILLER (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. Freeman, San Francisco, W. H. Freeman & Company, 522 p.
- MALAVOI, J.-R., ET COLLAB. (1998). *Guide technique n° 2 – Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau*, Agence de l'eau, Lyon, France, 39 p.
- MALAVOI, J.-R., ET J.-P. BRAVARD (2010). *Éléments d'hydrogéomorphologie fluviale*, ouvrage édité par l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques, 224 p. Disponible en ligne au <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-comprendre-agir/elements-dhydromorphologie-fluviale>.
- MANGELSDORF, J., K. SCHEURMANN ET F. H. WEISS (1990). *River Morphology: A Guide for Geoscientists and Engineers*, Heidelberg, Springer-Verlag Berlin, 243 p.
- POULIOT, L. G., M. BOIVIN ET D. DEMERS (2024). *Guide québécois d'application de l'Indice de Qualité Morphologique (IQM) des cours d'eau*. Firme Rivières et Laboratoire d'expertise et de recherche en géographie appliquée. LERGA-UQAC. 96 pages et annexes.
- SCHUMM, S. A. (1985). « Patterns of Alluvial Rivers », *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 13, p. 5-27.
- SUMMERFIELD, M. A. (1991). *Global Geomorphology: An Introduction to the Study of Landforms*, New York, Longman Scientific and Technical, 537 p.
- TERRIER, B., ET COLLAB. (2019). *Les rivières en tresses. Éléments de connaissance*, ouvrage édité par l'agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse en collaboration avec la Zone atelier bassin du Rhône. Disponible en ligne au <https://www.zabr.assograie.org/les-rivieres-en-tresses-elements-de-connaissance/>

Annexe 6 – Grilles de validation terrain - mobilité

Annexe 6.1 Fiche de caractérisation à l'échelle du tronçon homogène

Bassin versant :		Observateur :	
Style fluvial :	Id_troncon:	Id_UEA	

Dynamique du cours d'eau à l'échelle du tronçon	
Quel est le type d'environnement fluvial?	☐ Confiné (C≈70%) ☐ Partiellement confiné (C ≈ 30-70%) ☐ Alluvial (≈ 30%) ☐ Non observé
À quelle unité de paysage peut-on associer le tronçon?	☐ Cône alluvial ☐ Plaine alluviale ☐ Delta ☐ Autre, précisez : ☐ Non observé
Quel est le profil longitudinal du tronçon?	☐ Chute ☐ Cascades ☐ Rapides ☐ Marches-cuvettes ☐ Seuils-mouilles ☐ Rides-dunes ☐ Régulier/Plat ☐ Non observé
Quel est le niveau de cohésion des berges?	☐ Cohésive (berges rocheuses et argileuses) ☐ Non-cohésive (sables et gravier) ☐ Non observé
Quelle est la taille des sédiments qui composent principalement le lit du tronçon	☐ Argile et limon (< 60 µm) ☐ Sable (60 µm à 2 mm) ☐ Gravier (2 à 75 mm) ☐ Cailloux (7,5 à 25 cm) ☐ Blocs (> 256 mm) ☐ Affleurement rocheux ☐ Non observé

Dynamique du cours d'eau à l'échelle du tronçon	
Quels sont les processus actifs observés à l'échelle du tronçon homogène? (Cochez toutes les situations qui s'appliquent)	☐ Érosion des berges par la force hydraulique (talus convexe, talus concave, talus deux berges, foyer d'érosion, ouvrages de stabilisation, effet de bout) ☐ Érosion par mouvements de masses (cicatrice de glissement, décrochement latéral) ☐ Avulsions (chenal de débordement, chenaux secondaires, méandres abandonnés, ☐ Indices d'incision (terrasses perchées, racines exposées, banc convexe en érosion) ☐ Indices d'aggradation (levée, banc d'accumulation, diffluence)
Est-ce qu'il y a un stockage substantiel de sédiments sur le lit?	☐ Absence de bancs/ Bancs stables et végétalisés ☐ $\text{Largeur}_{\text{bancs}} < 40\% \text{ largeur}_{\text{dpb}}$ ☐ $\text{Largeur}_{\text{bancs}} \geq 40\% \text{ largeur}_{\text{dpb}}$
À quel style fluvial correspond le tronçon?	☐ Linéaire ☐ Sinueux ☐ Méandres stables ☐ Méandres dynamiques ☐ Divagant ☐ En tresses ☐ Anastomosé ☐ Artificialisé ☐ Diffus/Milieu humide ☐ Non observé
Dans l'historique récent (1960+), de quel ordre sont les fluctuations de largeur observées ?	☐ $\Delta \text{largeurs} < 10\%$ ☐ $\Delta \text{largeurs} \geq 10\% \text{ et } < 50\%$ ☐ $\Delta \text{largeurs} \geq 50\%$ ☐ Non observé
Dans l'historique récent (1960+), est-ce que le cours d'eau s'est déplacé ?	☐ Déplacement $< 1 \times \text{largeur}_{\text{npb}}$ ☐ Déplacement $\geq 1 \times \text{largeur}_{\text{npb}}$ et $< 3 \times \text{largeur}_{\text{npb}}$ ☐ Déplacement $\geq 3 \times \text{largeur}_{\text{npb}}$ ou avulsion ☐ Non observé
Quel type de crue domine le cours d'eau?	☐ Fluvial ☐ Torrentiel ☐ Non observé

Dynamique du cours d'eau à l'échelle du tronçon

Y a-t-il présence de structures ou de pratiques qui pourraient potentiellement altérer les débits liquides ou solide du tronçon?

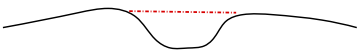
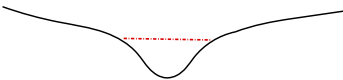
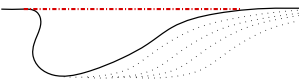
- ☐ Barrage, seuil, déversoir
- ☐ Altération anthropique du tracé fluvial (dragage, lit artificiel, canal)
- ☐ Traverses nombreuses (ponceau, ponts)
- ☐ Déconnexion des versants ou de la plaine (route, digue, enrochement, mur, canal)
- ☐ Autre, précisez :
- ☐ Non observé

Annexe 6.2 Fiche de caractérisation à l'échelle du site

Bassin versant :		Observateur :	
Style fluvial :	Modification du style ? ☐ Oui ☐ Non	GPS :	Id_PtRef :

Chenal actif/principal			
Photos liées au chenal actif/principal :			
Granulométrie moyenne du lit	☐ Affleurement rocheux ☐ Blocs (> 25 cm) ☐ Cailloux (7,5 à 25 cm)	☐ Gravier (2 à 75 mm) ☐ Sable (< 2 mm) ☐ Argiles et limons (< 60 µm) ☐ Non observé	
Influence du bois sur l'écoulement	☐ Significatif ☐ Négligeable ☐ Aucun	☐ Exacerbe l'érosion ☐ Inhibe l'érosion ☐ Les deux ☐ Non observé	
Modifications anthropiques du tracé fluvial	☐ Rectifié ☐ Potentiellement rectifié	☐ Contrôlé ☐ Non observé	
Mobilité du chenal	☐ Migration latérale ☐ Élargissement ☐ Rétrécissement	☐ Avulsion ☐ Incision ☐ Aggradation ☐ Non observé	
Banc(s) majeur(s)			
Banc 1 ; Photos :			
Type de banc	☐ Bords de convexité ☐ Bords latéraux ☐ Bords centraux	☐ Ile ou îlot végétalisé ☐ Non observé	
Granulométrie	☐ Affleurement rocheux ☐ Blocs (> 25 cm) ☐ Cailloux (7,5 à 25 cm)	☐ Gravier (2 à 75 mm) ☐ Sable (< 2 mm) ☐ Argiles et limons (< 60 µm) ☐ Non observé	
Végétation	☐ Absente ☐ Partielle ☐ Herbacée	☐ Arbustive ☐ Arborescente ☐ Non observé	
Superficie estimée (m²)			

Banc 2 ; Photos :		
Type de banc	☐ Bacs de convexité ☐ Bacs latéraux ☐ Bacs centraux	☐ Ile ou ilot végétalisé ☐ Non observé
Granulométrie	☐ Affleurement rocheux ☐ Blocs (> 25 cm) ☐ Cailloux (7,5 à 25 cm)	☐ Gravier (2 à 75 mm) ☐ Sable (< 2 mm) ☐ Argiles et limons (< 60 µm) ☐ Non observé
Végétation	☐ Absente ☐ Partielle ☐ Herbacée	☐ Arbustive ☐ Arborescente ☐ Non observé
Superficie estimée (m ²)		
Plaine alluviale		
Photos plaine alluviale :		
Chenaux et formes	☐ Chenal secondaire ☐ Chenal de débordement ☐ Méandre abandonné ☐ Avulsion	☐ Levées ☐ Terrasses anciennes ☐ Non observé
Tributaires	☐ Cône alluvial ☐ Deltas ☐ Non observé	
Dépôts meubles composant la plaine	☐ Sables et limons (débordement) ☐ Sables et graviers ☐ Humus épais	☐ Sol stratifié ☐ Non observé
Confinement	☐ Confiné latéralement (plus de 90%) ☐ Confiné énergétiquement (ex. diffus) ☐ Confiné artificiellement (ex. dragage)	☐ Partiellement confiné (entre 10% et 90%) ☐ Non confiné latéralement (moins de 10%) ☐ Non observé

Sections transversales		
Type 1 ○	Type 2 ○	Type 3 ○
		
Berges	GAUCHE	DROITE
	Photos :	Photos :
Type de berge	☐ Verticale ☐ Talus ☐ Surplomb ☐ Non observé	☐ Verticale ☐ Talus ☐ Surplomb ☐ Non observé
Stratification	☐ Cohésive ☐ Non cohésive ☐ Homogène ☐ Stratifiée à base cohésive ☐ Stratifiée à base meuble ☐ Non observé	☐ Cohésive ☐ Non cohésive ☐ Homogène ☐ Stratifiée à base cohésive ☐ Stratifiée à base meuble ☐ Non observé
Hauteur moyenne (m)		
Mouvement de masses	☐ Décrochement ☐ Glissement de terrain ☐ Non observé	☐ Décrochement ☐ Glissement de terrain ☐ Non observé
Granulométrie	☐ Argile et limon (< 60 µm) ☐ Sable (60 µm à 2 mm) ☐ Gravier (2 à 75 mm) ☐ Cailloux (7,5 à 25 cm) ☐ Blocs (> 256 mm) ☐ Affleurement rocheux ☐ Non observé	☐ Argile et limon (< 60 µm) ☐ Sable (60 µm à 2 mm) ☐ Gravier (2 à 75 mm) ☐ Cailloux (7,5 à 25 cm) ☐ Blocs (> 256 mm) ☐ Affleurement rocheux ☐ Non observé
Végétation riveraine	☐ Absente ☐ Partielle ☐ Herbacée ☐ Arbustive ☐ Arborescente ☐ Non observé	☐ Absente ☐ Partielle ☐ Herbacée ☐ Arbustive ☐ Arborescente ☐ Non observé

Étendue linéaire approximative de la végétation riveraine (%)			
Largeur moyenne de la bande riveraine (m)			
Observation de cicatrices de glace	☐ Photos : ☐ Hauteur approximative du sol :	☐ Photos : ☐ Hauteur approximative du sol :	
Structures anthropiques			
	Structure 1	Structure 2	Structure 3
Photos structures :			
Type de structure	☐ Pont ☐ Ponceau ☐ Mur ☐ Enrochement ☐ Seuil ☐ Barrage ☐ Canalisations ☐ Traverse à gué ☐ Autre ☐ Non observé	☐ Pont ☐ Ponceau ☐ Mur ☐ Enrochement ☐ Seuil ☐ Barrage ☐ Canalisations ☐ Traverse à gué ☐ Autre ☐ Non observé	☐ Pont ☐ Ponceau ☐ Mur ☐ Enrochement ☐ Seuil ☐ Barrage ☐ Canalisations ☐ Traverse à gué ☐ Autre ☐ Non observé
État de la structure	☐ En phase ☐ Affouillement ☐ Ensevelie ☐ Acc. de bois ☐ Effet de bout ☐ Non observé	☐ En phase ☐ Affouillement ☐ Ensevelie ☐ Acc. de bois ☐ Effet de bout ☐ Non observé	☐ En phase ☐ Affouillement ☐ Ensevelie ☐ Acc. de bois ☐ Effet de bout ☐ Non observé

Annexe 6.3 Application d'une grille de caractérisation terrain des zones de mobilité

L'annexe 6.3 présente un rapport présentant la méthodologie pour aider à remplir les fiches des annexes 6.1 et 6.2.

Rapport d'avancement – Application d'une grille de caractérisation terrain des zones de mobilité

Pour le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les
changements climatiques, de la Faune et des Parcs

Par l'Université du Québec à Rimouski

Février 2024



Table des matières

1. Introduction	1
2. Objectifs du projet	2
3. Caractérisation des cours d'eau	3
4. Présentation des fiches de caractérisation	5
4.1. Caractérisation initiale à l'échelle du tronçon homogène	7
4.2. Échelle du site.....	19
4.2.1. Chenal actif / principal.....	19
4.2.2. Bords majeurs	21
4.2.3. Plaine alluviale	23
4.2.4. Section transversale.....	26
4.2.5. Bords	27
4.2.6. Anthropisation	31
Infrastructures	31
5. Recommandations et réflexions	33
6. Références.....	36

Liste des figures

Figure 1. Classifications des cours d'eau et paramètres de caractérisation (Kondolf & Piégay, 2003).....	4
Figure 2. Types d'environnements fluviaux ; A) Tronçon confiné par des berges rocheuses (Nicolet) ; B) Tronçon alluvial à berges meubles (Du Sud)	8
Figure 3. Processus lié à la mobilité du chenal; A) Érosion par force hydraulique (Nicolet) B) Mouvement de masse (Nicolet) ; ; C) Indice d'aggradation (Du Sud) ; D) Indice d'incision (Anse pleureuse)	13
Figure 4. Classification de style fluviaux (adapté de Church, 2006).....	16
Figure 5. Types de berges ; A) Berge verticale ; B) Talus associé à une terrasse ; C) berge en surplomb à base meuble	28
Figure 6. Cicatrice de glace sur la rivière Nicolet.....	31

1. Introduction

Des changements récents dans le cadre législatif régissant cartographie des aléas fluviaux visent l'intégration des concepts d'hydrogéomorphologie dans l'analyse des cours d'eau du sud du Québec. Le ministère de l'Environnement, de la Lutte aux changements climatiques, des Forêts et des Parcs est ainsi mandaté pour procéder à la cartographie réglementaire de l'espace de mobilité des rivières sur le territoire.

Parallèlement, l'adoption du projet de loi 67 instaure un nouveau régime d'aménagement dans les zones inondables des lacs et des cours d'eau et attribue au MELCC la responsabilité de la réalisation et de l'approbation de la cartographie des zones inondables et de mobilité. Ces dernières devront être caractérisées et intégrées dans la nouvelle cartographie en utilisant les principes d'hydrogéomorphologie afin de déterminer les espaces de mobilité à court et à long terme et de mieux y planifier les usages. Afin d'encadrer les travaux sur le terrain qui serviront à la validation de la cartographie des espaces de mobilité et leur suivi à long terme, il est essentiel de développer des guides, outils et méthodologies utilisables par les employés du Ministère, ou par un mandataire qualifié.

Le présent projet vise donc à fournir des fiches de caractérisation terrain qui permettent d'identifier les processus fluviaux à l'échelle du tronçon homogène ainsi qu'à l'échelle du site. Ces observations enrichissent les analyses portant sur la mobilité des cours d'eau en vue de la cartographie réglementaire et sont essentielles à l'identification des processus qui concernent la migration verticale. De plus, ces fiches s'intègrent dans le projet de *développement d'outils pour l'intégration des principes de l'hydrogéomorphologie dans l'autorisation environnementale des projets réalisés en milieux hydriques*, qui s'adresse aux initiateurs de projets.

Des fiches de caractérisation terrain ont été soumises à l'équipe de la Direction de l'hydrologie et de l'hydraulique (DHH) du MELCCFP à l'été 2022. Ces fiches visent à encadrer et à uniformiser les observations à réaliser sur le terrain et ce rapport est un outil d'accompagnement qui décrit la relation entre les observations et la mobilité du chenal.

2. Objectifs du projet

Le projet de développement d'outils pour l'intégration des principes de l'hydrogéomorphologie dans l'autorisation environnementale des projets réalisés en milieux hydriques se décline en 4 objectifs généraux desquels se déclinent des objectifs spécifiques. Les objectifs généraux sont les suivants :

1. Développer un guide afin d'accompagner les initiateurs de projets dans les éléments à fournir dans l'étude de caractérisation (exigée en vertu de l'article 46.0.3 de la section V.1 de la LQE) en ce qui a trait aux composantes hydrogéomorphologiques.
2. Proposer une méthodologie et des outils terrain afin d'identifier les zones de mobilité des cours d'eau et d'effectuer un suivi à long terme des zones identifiées comme mobiles.
3. Fournir aux analystes du Ministère et aux initiateurs de projets un outil d'aide à la conception et à l'analyse des projets en milieux hydriques qui serait adapté aux nouvelles exigences réglementaires et qui faciliterait l'intégration des principes de l'hydrogéomorphologie.
4. Former les analystes du Ministère sur les principaux concepts de l'hydrogéomorphologie et de dynamique fluviale et leur démontrer comment ces principes doivent être intégrés dans leur travail d'analyse. L'objectif est de faire en sorte que les analystes soient en mesure de reconnaître les lacunes importantes d'un projet du point de vue de l'hydrogéomorphologie, et le cas échéant de poser les bonnes questions aux initiateurs de projets.

Le présent rapport s'articule spécifiquement autour de l'objectif 2 et présente les fiches de caractérisation terrain soumises au MELCCFP au début de l'été 2022. Il décrit les éléments théoriques qui justifient le choix des informations à noter lors des visites terrains, fournit des exemples de caractérisations et à formule des recommandations concernant l'utilisation et l'application des fiches de caractérisation de la mobilité.

3. Caractérisation des cours d'eau

La caractérisation des cours d'eau peut s'effectuer en utilisant un éclairage disciplinaire. Cet éclairage influence les échelles d'analyses spatiales et temporelles, les informations à relever et la complexité des observations à réaliser. L'hydrogéomorphologie s'intéresse aux caractéristiques du système fluvial qui conditionnent les processus et le développement des formes fluviales. Différentes approches permettent d'atteindre ces objectifs. La plus commune vise à attribuer un style fluvial à un cours d'eau. La classification des cours d'eau en style fluviaux est une simplification de la réalité, mais permet d'inférer les processus régissant le morphodynamisme du chenal par la reconnaissance des formes et représente un outil de communication puissant. De nombreux auteurs ont proposé des méthodes pour classifier les cours d'eau. La figure 1 expose le grand nombre de classifications développées avant les années 2000 et identifie la diversité des échelles spatiales et des paramètres considérés par ces méthodes. Le nombre de méthodes de classification hydrogéomorphologique n'a cessé de croître depuis (Belletti et al., 2015), mais dans tous les cas la classification des cours d'eau s'effectue en regroupant des informations clés relatives à la morphométrie du chenal (pente, sinuosité, section transversale), à la granulométrie du lit et des berges, à la dynamique sédimentaire et à l'environnement fluvial proximal (unités de paysage fluvial), entre autres. Ces informations peuvent être mesurées à l'aide de méthodes et d'instruments très précis et requièrent un certain niveau d'expertise ou de manière relativement simple, à l'aide d'observations qualitatives. Le *protocole d'évaluation géomorphologique des cours d'eau du Vermont*, par exemple, propose une démarche très complète et exige des mesures précises lors de la caractérisation. Il vise à regrouper des informations scientifiquement significatives pour effectuer une planification et une évaluation détaillée des habitats aquatiques et des risques liés à l'érosion des berges (Kline et al., 2009). De telles démarches demandent une grande expertise dans de multiples disciplines ainsi qu'une structure permettant de stocker l'ensemble des observations dans une base de données. Elles permettent néanmoins de centraliser une grande quantité de données quantitatives pouvant être soumises à des analyses rigoureuses. Inversement, d'autres approches visent la simplicité d'exécution et d'interprétation. Des formulaires composés de questions faciles à interpréter peuvent être adressés aux citoyens afin de regrouper la plus grande quantité d'information possible sur un bassin versant (District Municipality of Muskoka, 2022). Le projet actuel vise à formuler

des grilles d'analyse permettant de caractériser la dynamique des cours d'eau spécifiquement à l'égard des processus de mobilité. Les fiches proposées visent un équilibre entre observations ciblées et simplicité d'application. Il est à noter que dans le volet 1A du projet de rédaction de guide d'accompagnement, une recension approfondie des écrits et des méthodes de caractérisation de la mobilité des cours d'eau sera proposée.

	Geographical unit (geology, landform...) Valley or valley bottom morphology Channel pattern, sinuosity Channel morphology Gradient Stream power Channel bottom grain size Sediment load (type and/or intensity) Morphodynamic units Morphodynamic adjustments 10 ³ and more 10 ² 10 ¹ 10 ⁰ 10 ⁻¹ 10 ⁻²											
	Variables								Spatial scales (km ²)			
Leopold and Wolman (1957)			●							●	●	●
Rust (1978)			●							●	●	●
Lotspeich (1980)	●								●	●	●	●
Cloots and Maire (1980)	●	●	●	●					●	●	●	●
Ferguson (1981)			●		●					●	●	●
Maire and Wilms (1984)		●	●	●	●		●				●	●
Brussock <i>et al.</i> (1985)	●								●			
Frissel <i>et al.</i> (1986)	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●
Hugues <i>et al.</i> (1993)	●								●			
Cupp (1989a,b)		●	●							●	●	●
Agence de l'Eau Rhin-Meuse <i>et al.</i> (1991)	●			●	●					●	●	●
Otto (1991)		●	●		●					●	●	●
Nanson and Croke (1992)		●	●	●	●	●		●		●	●	●
Corbonnois and Zumstein (1994)	●	●			●					●	●	●
Downs (1994, 1995)	●				●			●		●	●	●
Rosgen (1994, 1996)		●	●	●	●		●				●	●
Petit (1995)			●			●		●		●	●	●
Nanson and Knighton (1996)	●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	●
Bethemont <i>et al.</i> (1996)	●	●	●	●	●			●	●	●	●	●
Bernot <i>et al.</i> (1996)	●			●	●	●	●			●	●	●
AQUASCOP (1997)	●	●	●	●	●	●	●			●	●	●

●: Variable partially taken into account

Figure 1. Classifications des cours d'eau et paramètres de caractérisation (Kondolf & Piégay, 2003)

4. Présentation des fiches de caractérisation

Les fiches de caractérisations présentées en annexe servent à compiler les informations nécessaires pour procéder à l'analyse de la mobilité du cours d'eau. Deux fiches correspondant à des échelles d'analyses distinctes sont proposées. La fiche *Caractérisation initiale à l'échelle du tronçon homogène* vise à caractériser le cours d'eau à l'échelle du tronçon homogène, un linéaire variant entre quelques centaines de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres. Elle peut être utilisée avant la caractérisation terrain à partir de photographies aériennes historiques géoréférencées, dans la mesure du possible, et de mosaïque d'orthophotographies récentes. Autrement, les images satellites publiques (Sentinel, LandSat), ou des données facilement accessibles comme celles de Google Earth peuvent agir à titre de référence si le cours d'eau est suffisamment large pour être perceptible sur des images de plus faibles résolutions. Cette démarche permet d'acquérir une connaissance préalable de l'environnement fluvial dans lequel se situe un site d'intérêt, d'identifier les contraintes spatiales qui régissent le comportement du cours d'eau et son évolution dans le temps.

La fiche *Caractérisation à l'échelle du site* propose d'effectuer des observations sur le cours d'eau de manière localisée, à l'échelle d'un méandre ou d'un d'aménagement par exemple. Elle regroupe des caractéristiques sédimentologiques et morphologiques locales et doit s'utiliser sur le terrain lors de la caractérisation. Dans la mesure du possible, il est toutefois recommandé de caractériser le tronçon du cours d'eau dans son ensemble sur le terrain aussi. De telles démarches peuvent toutefois nécessiter beaucoup de temps. Lorsqu'il s'avère impossible de caractériser le tronçon complet, la démarche terrain devrait au minimum s'effectuer sur quelques centaines de mètres.

Pour les deux fiches, les indicateurs retenus visent à recueillir des informations clés permettant d'évaluer la mobilité du cours d'eau. Cinq contextes morphodynamiques peuvent contribuer à la mobilité du chenal : migration latérale, élargissement, avulsion, incision et aggradation. La migration latérale est propre à la dynamique de méandrage des rivières sinueuses. L'élargissement survient lorsque les berges se font éroder, mais que la position du chenal demeure identique. Les avulsions sont associées à des changements marqués dans la position du chenal principal dans la plaine alluviale. L'incision et l'aggradation sont associées respectivement à des tronçons où les bilans sédimentaires sont négatifs et positifs. Dans les tronçons en incision, beaucoup plus de

sédiments quittent le tronçon qu'il n'en entre, ce qui fait que le lit s'incise de manière généralisée sur tout le tronçon. Dans les tronçons en aggradation, beaucoup plus de sédiments entrent dans le tronçon qu'il n'en sort, ce qui fait que le lit est rehaussé de manière généralisée sur tout le tronçon. La migration latérale, l'élargissement et les avulsions font partie de la mobilité latérale du cours d'eau. L'incision et l'aggradation font partie de la mobilité verticale du cours d'eau. Ces contextes morphodynamiques ne sont pas exclusifs et il est possible qu'une migration latérale soit associée à une incision du cours d'eau. Ces contextes peuvent être inférés par des indicateurs spécifiques et l'élaboration des fiches visait à exploiter ces indicateurs pour mieux expliquer la mobilité et le contexte morphodynamique lui étant associé.

Les informations relevées à l'aide des fiches de caractérisation ont comme objectif de renseigner sur le style fluvial ainsi que la trajectoire hydrogéomorphologique des cours d'eau en mettant l'accent sur la mobilité. Le rythme et la direction de la migration, les volumes et la taille des sédiments et l'état de la végétation renvoient au style fluvial. La classification en style fluvial est une simplification de la dynamique du cours d'eau qui repose sur l'identification des formes et des processus actifs dans le système. Leur évolution dans le temps renvoie à la trajectoire hydrogéomorphologique. Cette dernière renseigne sur les tendances adoptées par les processus dans le cours d'eau et permet d'anticiper certains ajustements susceptibles de survenir à l'avenir. Ainsi, des données relatives à la position du cours d'eau à différents moments de son histoire récente sont nécessaires pour l'analyse de la trajectoire hydrogéomorphologique.

4.1. Caractérisation initiale à l'échelle du tronçon homogène

Environnement fluvial

Le niveau de confinement d'un cours d'eau témoigne de sa mobilité potentielle lors d'événements de crues. Il varie le long d'un cours d'eau et il doit être déterminé en considérant l'ensemble d'un tronçon (figure 2).

Confiné (Confinement $\approx$ 70% de la longueur) : La migration latérale d'un cours d'eau confiné est limitée par la lithologie. Les berges rocheuses maintiennent le cours d'eau dans sa position indépendamment de la pression hydraulique appliquée. Il est important de noter que la présence d'infrastructure de protection n'est pas prise en compte dans l'évaluation du confinement. La nécessité d'intervenir pour stabiliser le chenal souligne au contraire que le cours d'eau peut être mobile. Un grand degré de confinement indique que des ajustements dans le positionnement du chenal sont moins probables.

Partiellement confiné (Confinement entre 30% et 70% de la longueur) : Les cours d'eau 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. Un cours d'eau partiellement confiné indique que des ajustements dans la position du chenal sont possibles.

Non confiné (Confinement $\approx$ 30% de la longueur) : Les cours d'eau 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. Dans les cours d'eau non confinés, des ajustements dans le positionnement du chenal sont probables.

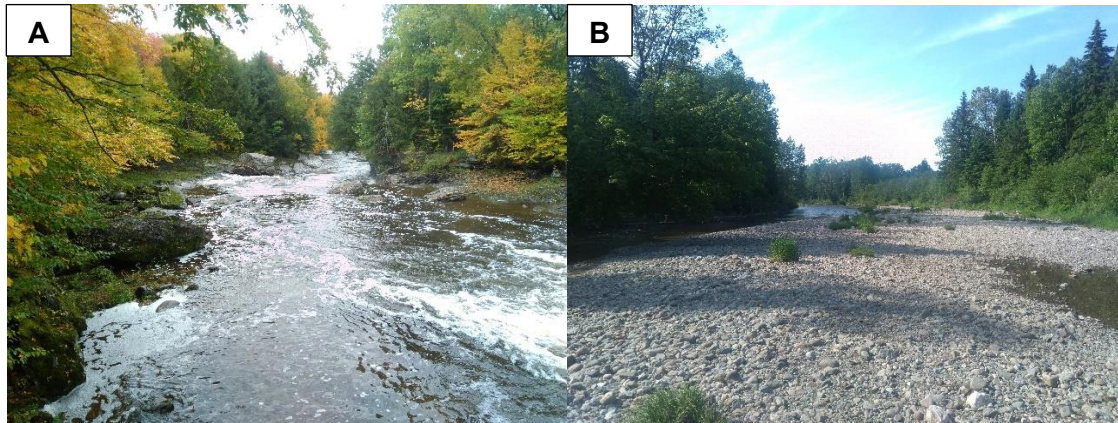


Figure 2. Types d'environnements fluviaux ; A) Tronçon confiné par des berges rocheuses (Nicolet) ; B) Tronçon alluvial à berges meubles (Du Sud)

Unités de paysage fluvial

Cône alluvial : Les cônes alluviaux sont des unités de paysage qui se construisent aux ruptures de pente majeures. Ils forment un épandage de sédiments constitué d'un apex surélevé dans la portion amont et de marges plus ou moins distinctes à l'aval, alors que les sédiments s'étendent sur la plaine alluviale. Les cônes sont issus d'écoulements torrentiels qui charrient une grande quantité de sédiments que le cours d'eau n'a plus la compétence de transporter. Ils sont très sensibles à la relation entre les débits solides et les débits liquides, s'incisent ou s'aggradent rapidement, ce qui peut engendrer un changement subit du chenal principal. Leur sensibilité leur confère un caractère imprévisible. On les retrouve souvent à l'interface entre des tributaires torrentiels et la plaine alluviale.

Plaine alluviale : La plaine alluviale est une forme fluviale construite par l'occurrence de deux processus, d'une part l'inondation et de l'autre la mobilité du chenal. Lors des inondations, les sédiments transportés par l'écoulement s'épandent partout sur les surfaces inondées et la succession des événements mène progressivement à l'accumulation de multiples couches de sédiments. De manière générale, les sédiments qui composent ces dépôts de débordement sont plus fins que ceux qui composent le lit, car la compétence sur la plaine est plus faible qu'au sein du lit. La mobilité concerne les mouvements latéraux et verticaux que peut subir le chenal d'écoulement. Parmi ces mouvements, la migration latérale provoque l'érosion d'une portion de la plaine alluviale existante tout en assurant la construction des bancs d'accumulation qui contribue à sa formation. La migration latérale apporte des sédiments plus grossiers à la plaine alluviale,

leur taille correspond à celle retrouvée dans le chenal. La plaine alluviale fonctionnelle constitue la portion de la plaine où surviennent les processus liés aux inondations et à la mobilité du chenal.

Delta : Les deltas se construisent alors qu'un cours d'eau se déverse dans un plan d'eau (lac, golfe, mer) où la compétence et la capacité de transport diminuent considérablement et que les sédiments se déposent en forme d'éventail. Ce sont aussi des environnements sensibles aux changements. On y retrouve habituellement de nombreux chenaux d'écoulements qui peuvent s'obstruer et engendrer des avulsions ou des inondations, car les berges sont généralement basses. De plus, les deltas qui se situent dans les estuaires, les golfes, les mers et les océans sont soumis à une panoplie de processus littoraux qui viennent influencer leur évolution.

Cohésion des berges

Le niveau de cohésion des berges permet d'anticiper la possibilité qu'à un cours d'eau à se déplacer latéralement. La cohésion des sédiments permet de solidifier la berge et d'augmenter sa capacité à résister à la force érosive du cours d'eau.

Cohésives : Les berges cohésives sont généralement de nature rocheuse (contrôle lithologique) ou argileuse. Elles indiquent que le chenal est très peu susceptible de se déplacer latéralement.

Non-cohésives : Les berges non cohésives sont généralement composées de sédiments meubles facilement mobilisables par l'érosion fluviale, comme les sables et graviers. Elles indiquent que le chenal est plus susceptible de se déplacer latéralement et elles représentent une source de sédiments pouvant être introduite au cours d'eau.

Granulométrie du lit

La taille des sédiments qui composent le lit d'un cours d'eau expose la malléabilité des morphologies fluviales aux fluctuations de débits, mais aussi à la présence d'obstacles à l'écoulement. La taille des sédiments est aussi un indicateur du niveau de cohésion du lit et des modes de transport dominants. Les lits peuvent avoir des sédiments de tailles hétérogènes, il suffit alors donc d'identifier la classe granulométrique dominante.

Lit rocheux ou de blocs: Les cours d'eau qui s'écoulent sur un lit rocheux ou un lit composé de blocs sont peu susceptibles d'être mobiles. La roche en place peut s'éroder, mais très peu à l'échelle humaine. Les blocs (> 256 mm) sont transportés par charriage, mais demandent des écoulements très compétents pour être mobilisés. Dans ces contextes, il est peu probable que les cours d'eau se déplacent.

Gravier et cailloux > 2 mm et < 256 mm: Les graviers et les cailloux sont transportés par charriage dans le cours d'eau. Ils sont trop gros pour être en suspension ou en saltation. Lorsque la puissance du cours d'eau est suffisante, ils se déplacent en roulant ou en glissant sur le lit et leur taille témoigne de la compétence du cours d'eau. Les crues peuvent déplacer des sédiments de ce calibre et forcer le développement de bancs d'accumulations. Ceux-ci peuvent forcer la migration du cours d'eau en repoussant l'écoulement sur une berge en érosion et représentent une source de sédiments qui peuvent être mobilisés lors de crues subséquentes. Les cours d'eau dominés par un lit de gravier et de galets sont généralement très dynamiques.

Sable $> 0,063$ mm et < 2 mm : Le sable est transporté par roulement et par saltation, une succession de petits sauts effectués par les grains. Les sédiments sont généralement faciles à mobiliser et les formes d'accumulations peuvent être moins durables dans le temps.

Argile et limon : Les argiles et les limons sont très fins, ils mesurent entre 0.002 mm et 0.063 mm. Ils sont transportés en suspension dans les cours d'eau, même lorsque la puissance de l'écoulement est très faible, et nécessitent des vitesses d'écoulement élevé pour être arraché au substrat. Ils peuvent être transportés sur de très grandes distances avant de se déposer et ils sont peu susceptibles d'initier le développement de formes fluviales ou de contribuer de façon significative aux ajustements morphologiques.

Processus actifs

Un cours d'eau ajuste sa morphologie en réponse à des perturbations, naturelles ou anthropiques, en activant une série de processus qui contribuent à conserver le chenal dans un état d'équilibre (figure 3). Plusieurs processus peuvent être simultanément actifs, et ils peuvent avoir une influence plus ou moins grande sur la dynamique du cours d'eau. Il est donc possible d'en identifier plusieurs et de tous les considérer lors de la caractérisation.

Érosion des berges par la force hydraulique : L'écoulement de l'eau au sein du chenal exerce une force sur les berges. La relation entre la cohésion des berges et la puissance de l'écoulement porte les cours d'eau à se déplacer latéralement. La migration du cours d'eau peut être lente ou rapide, mais la migration se fait généralement de manière progressive.

Érosion par mouvements de masses : Les mouvements de masses sont des événements de faible récurrence, mais de haute intensité. C'est-à-dire qu'il ne peut se produire aucun événement sur une longue période de temps, mais qu'un seul mouvement de masse peut avoir de grandes conséquences. Les mouvements de masses de faible ampleur peuvent initier un recul des berges de quelques mètres et les événements de grande ampleur peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres en un seul événement. De plus, ils représentent une source de sédiments considérables qui peut modifier le fonctionnement du cours d'eau en aval et obstruer le cours d'eau en amont. Les impacts morphosédimentaires peuvent être grands.

Avulsion : L'avulsion est un changement drastique de la position du chenal au sein de la plaine alluviale. Contrairement à la migration latérale, qui se fait progressivement, l'avulsion est un processus rapide qui implique un changement complet de la position du cours d'eau. On considère ici différents types d'avulsions, les recoupements de méandre, la réoccupation d'un chenal antérieur ou la création d'un nouveau chenal. Les avulsions se produisent généralement lorsque le niveau d'eau excède le niveau pleins bords et que l'écoulement sur la plaine exploite des voies d'écoulements préférentielles où la pente est plus forte que celle du chenal. Le nouveau chenal ainsi formé peut devenir la voie d'écoulement principale s'il est suffisamment profond, pentu et large. Les avulsions se produisent de manière peu fréquente, mais peuvent modifier de manière significative la configuration d'un tracé fluvial.

Indices d'incision : L'incision est le processus qui permet la migration verticale du chenal. Ses impacts sont susceptibles de se répercuter sur l'ensemble du cours d'eau et peuvent durer dans le temps selon l'ampleur des facteurs de contrôles. Ses effets sont difficiles à contrôler et se propagent généralement dans l'espace, afin que le cours d'eau retrouve une pente « d'équilibre ». L'incision peut par exemple être due à l'épuisement des sources sédimentaires en amont ou à l'augmentation de la capacité de transport du cours d'eau. Elle peut notamment avoir pour conséquences d'abaisser le niveau de la nappe phréatique, et de déstabiliser les infrastructures présentes sur le cours d'eau. Les indices d'incision peuvent prendre la forme de bancs d'accumulations perchés, de terrasses, de chenaux abandonnés, d'anciens glissements de terrain, d'affouillement de racines d'arbres exposés sur les berges, d'un chenal profond et étroit, de deux berges en érosion par décrochement, d'un lit compact et de la présence d'un pavage et de matériaux du lit surexposé dans les berges en érosion. Les conséquences de l'incision sont durables dans le temps et se propagent dans l'espace par érosion régressive. Lorsqu'un cours d'eau s'incise, une rupture de pente abrupte se forme et la compétence du chenal augmente localement permettant de mobiliser des sédiments. Cette encoche migre vers l'amont à mesure que les sédiments sont arrachés au lit, jusqu'à l'atteinte d'un nouveau profil d'équilibre.

Indices d'aggradation: L'aggradation correspond au rehaussement du niveau du lit généralisé sur un tronçon de cours d'eau ou un cours d'eau en entier. De la même manière que l'incision, ses effets sont durables dans le temps et peuvent se propager dans l'espace. Ce phénomène est généralement dû à l'augmentation des sources sédimentaires ou à une diminution de la capacité de transport du cours d'eau. Le rehaussement du niveau du lit peut notamment rendre désuètes certaines infrastructures, réduire l'espace disponible pour l'écoulement de l'eau sous des ponceaux ou des traverses de cours d'eau, augmenter la probabilité d'inondation. L'aggradation peut être initiée naturellement, par une élévation du niveau de base ou artificiellement, par l'implantation d'une infrastructure qui obstrue le cours d'eau et crée du refoulement, par exemple. Les indices d'aggradation peuvent prendre la forme d'infrastructures ensevelies, de bancs de graviers larges, non compacts et non végétalisés, de berges en érosion dans des secteurs peu profonds, d'espace réduit sous les ponts, d'une épaisse couche de sédiments fins par-dessus la couche des matériaux du lit ou de sols enfouis sous des dépôts de débordements. Les conséquences de l'aggradation sont durables dans le temps et se propagent dans l'espace.



Figure 3. Processus lié à la mobilité du chenal; A) Érosion par force hydraulique (Nicolet) B) Mouvement de masse (Nicolet) ; ; C) Indice d'aggradation (Du Sud) ; D) Indice d'incision (Anse pleureuse)

Stockage de sédiments

La quantité de sédiments stockée sur le cours d'eau renseigne sur la dynamique du milieu et la disponibilité sédimentaire sur le cours d'eau. La présence de grands volumes de sédiments au sein du chenal met en évidence les zones d'accumulations sédimentaires et souligne que la capacité de transport est inférieure aux apports en sédiments. Les cours d'eau marqués par de grands volumes de sédiments en charge de fond sont généralement mobiles, car les bancs d'accumulations repoussent le chenal sur la berge en érosion. De plus, la présence de sédiments augmente la rugosité du lit, peuvent ralentir l'écoulement et exacerber l'accumulation de sédiments. Inversement, l'absence de sédiments témoigne d'une capacité de transport égale ou supérieure au chargement en sédiments. Ces secteurs agissent souvent comme zone de transport ou de productions de sédiments. Les formes témoignant du stockage de sédiments sont plus faciles à

observer en période d'étiage, car en crue, les bancs d'accumulations sont submergés et leur étendue est plus difficile à évaluer.

Absence de bancs ou présence de bancs stables et végétalisés : Les chenaux sans bancs d'accumulations tendent à être des zones de transport ou de production de sédiments. La présence de bancs d'accumulations végétalisés indique que la dynamique hydrosédimentaire est suffisamment stable pour permettre la colonisation de la végétation.

Largeur des bancs < 40% largeur plein bord : Les bancs d'accumulations qui occupent moins de 40% de la largeur du cours d'eau montrent que des sédiments s'accumulent sur la section transversale, mais que la majorité de l'espace est disponible pour l'écoulement de l'eau.

Largeur des bancs $\geq$ 40% largeur plein bord : Les bancs d'accumulations qui occupent plus de 40% de la largeur du chenal occupent une portion significative de la section transversale, limitent considérablement l'espace disponible pour l'écoulement de l'eau et augmentent significativement la rugosité le long de la section transversale.

Style fluvial

La classification en style fluvial permet rapidement d'aborder et de communiquer les formes et les processus qui caractérisent la dynamique des cours d'eau (Figure 4). Certains styles fluviaux sont manifestement plus dynamiques que d'autres. Le style fluvial est le reflet des relations entre la pente, la taille et la quantité des sédiments disponibles. En un coup d'œil rapide, il est possible d'identifier sommairement la manière dont le cours d'eau se comporte.

Linéaire, méandre stable : Les cours d'eau linéaires sont généralement des zones de transport, ils sont moins mobiles latéralement, soit parce qu'ils ont atteint l'équilibre hydrosédimentaire, parce qu'ils sont suffisamment compétents pour mobiliser les sédiments qui leur sont acheminés ou parce qu'ils sont confinés. Les cours d'eau à méandres stables peuvent être très sinueux, signent de mobilité, mais ont atteint un état « d'équilibre » qui leur confère leur stabilité. Il est aussi possible qu'ils soient toujours en migration, mais que la cohésion des berges ou le contrôle lithologique soit suffisamment

grand pour ralentir la migration de manière qu'elle ne soit pas observable à l'échelle humaine. Ce sont des cours d'eau très stables.

Méandre dynamique : Les cours d'eau à méandres dynamiques sont caractérisés par un indice de sinuosité élevé ($Is \geq 1.5$). L'indice de sinuosité correspond à la longueur à vol d'oiseau d'un tronçon et la longueur réelle du tracé fluvial. Ce sont des cours d'eau qui se déplacent au sein de la plaine alluviale principalement par migration latérale, lorsque les berges sont suffisamment meubles pour permettre la mobilité, ou par recoupement de méandre, lorsque des crues permettent d'éroder la portion de plaine alluviale qui sépare deux boucles de méandres. On retrouve souvent de grands bancs d'accumulations en construction sur la berge opposée d'une berge en érosion. Sur la plaine alluviale, il est souvent possible de distinguer une chronoséquence qui témoigne de déplacement du chenal, dans les stades d'évolution de la végétation riveraine. Ce sont des cours d'eau mobiles

Divagant : Les cours d'eau divagants sont caractérisés par une grande charge sédimentaire. Le chenal est généralement large et peu profond. De multiples chenaux sont présents et utilisés simultanément par le cours d'eau ou en alternance dans le temps, lorsque des avulsions surviennent. L'occupation de ces multiples chenaux permet la formation d'îlots végétalisés au sein du chenal. On considère souvent les cours d'eau divagants comme des cours d'eau de transition entre les chenaux linéaires et pentus, en amont des bassins versants et ceux à méandres dynamiques qui sillonnent dans les plaines alluviales. On les retrouve souvent d'ailleurs en amont des vallées alluviales. Les processus qui les caractérisent sont nombreux, difficiles à prévoir et sont considérés comme mobiles.

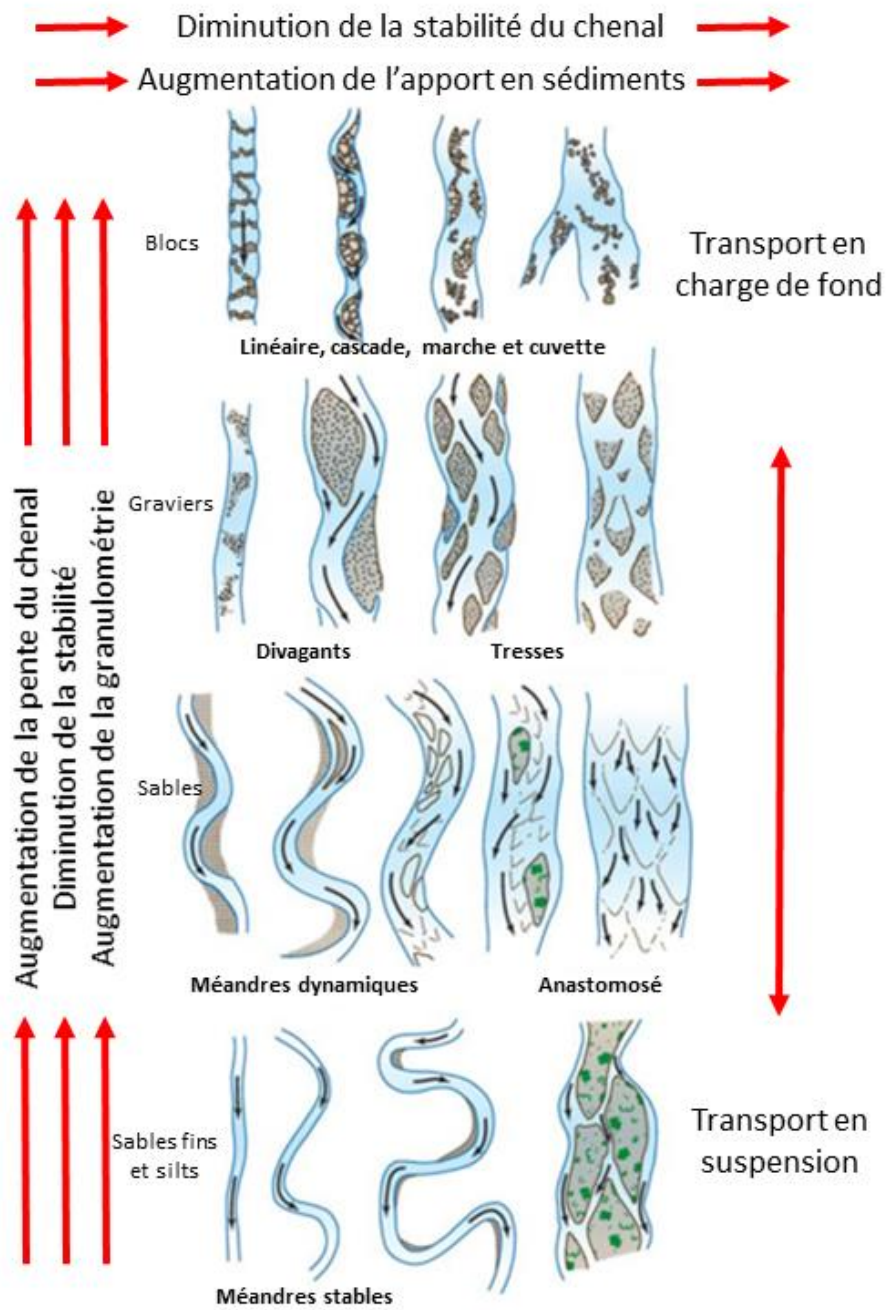


Figure 4. Classification de styles fluviaux (adapté de Church, 2006)

Évolution des largeurs

La fluctuation des largeurs d'un cours d'eau permet de déterminer si le cours d'eau tend à s'ajuster à des perturbations qui surviennent dans le temps. Les cours d'eau réagissent différemment aux perturbations auxquels ils sont soumis. Pour un événement de crue donné, par exemple, certains cours d'eau n'afficheront aucune augmentation de la largeur, alors que d'autres s'élargiront beaucoup afin de permettre l'écoulement de l'eau. Même sans connaître la cause des perturbations, la reconnaissance que des ajustements ont été mis en place ou pas permet de connaître le niveau de sensibilité du chenal. La richesse des interprétations issues de l'analyse des photographies historiques augmente avec la quantité de photos analysées, car un grand nombre de photographies permet d'évaluer la vitesse à laquelle s'opèrent les ajustements, mais un minimum de trois photographies devrait être systématiquement utilisé.

Ne sais pas : Il est possible que cette information ne soit pas accessible à toutes et à tous. Il est néanmoins possible que la largeur du cours d'eau ait fluctué dans le temps. En l'absence de données, il convient de considérer que certains ajustements ont pu s'être produits, pour cette raison.

Δ largeurs < 10% : Une variation de la largeur du cours d'eau équivalente à 10% de sa largeur sur une période de plus de 50 ans témoigne de la stabilité du cours d'eau, d'ajustements mineurs ou encore d'une possible erreur d'interprétation ou de géoréférencement.

Δ largeurs $\geq$ 10% et < 50% : Des variations de largeurs variant entre 10% et 50% indiquent que le cours d'eau a la capacité de s'ajuster aux variations des débits solides et liquides et que l'on est en présence d'un environnement dynamique.

Δ largeurs $\geq$ 50% : Des variations d'un cours d'eau excédant 50% de sa largeur indiquent que le cours d'eau est très sensible aux perturbations et que des élargissements ou des rétrécissements majeurs sont susceptibles de se produire si la relation entre les débits solides et liquides est modifiée. Il est probable que le cours d'eau soit constamment en ajustement, ce qui le rend très dynamique.

Migration du chenal

L'ampleur des déplacements du chenal est un excellent indicateur du dynamisme du cours d'eau. Il permet d'estimer les taux de migration moyens du chenal et de déterminer si certaines sections sont plus mobiles que d'autres. À partir de cette information, il est aussi possible de déterminer si le cours d'eau est susceptible de se déplacer à l'avenir ou non.

Ne sais pas : Il est possible que cette information ne soit pas accessible à toutes et à tous. Il est néanmoins possible que le cours d'eau se soit déplacé dans le temps. En l'absence de données, il convient de considérer un certain niveau de mobilité, pour cette raison.

Déplacement $< 1 \times$ largeur plein bord : Un déplacement du chenal inférieur à 1 fois la largeur du cours d'eau témoigne de la stabilité du cours d'eau, d'une migration mineure ou d'une erreur d'interprétation.

Déplacement $\geq 1 \times$ largeur plein bord et $< 3 \times$ largeur plein bord : Un déplacement du chenal de 1 à 3 fois sa largeur montre que le cours d'eau est mobile et qu'il est possible qu'il se déplace à nouveau dans les années à venir.

Déplacement $\geq 3 \times$ largeur plein bord ou avulsion : Un déplacement du chenal excédant 3 fois la largeur du cours d'eau ou une avulsion met en évidence un environnement fluvial dynamique et très mobile.

Type de régime hydrologique

Le type de crue peut déterminer la compétence et la capacité des cours d'eau. Elle détermine aussi le type d'ajustement morphologique possible et la puissance des aléas fluviaux. Il est possible de reconnaître le type d'écoulement en observant la superficie du bassin versant, la pente du chenal, la taille ainsi que la quantité de sédiments transportés.

Fluvial : Les écoulements fluviaux se retrouvent dans les cours d'eau alluviaux de fond de vallée et le transport de sédiments de gros calibre est limité, car la pente est généralement faible ($< 1\%$). Le temps de concentration de l'eau jusqu'au chenal principal varie en fonction de la taille du bassin versant, mais elle nécessite plusieurs heures, voire plusieurs journées avant que le pic de crue soit atteint. Les sédiments sont transportés par suspension, saltation ou charriage et le volume de sédiments est largement inférieur aux volumes d'eau déplacés par la crue. La taille des sédiments qui composent le lit est

inférieure aux blocs (< 256 mm). Ce type d'écoulement est moins rapide et l'atteinte du pic de crue se fait de façon plus progressive.

Torrentiel : Les écoulements torrentiels se retrouvent dans les cours d'eau pentus ($>1\%$). Les bassins versants de ces cours sont généralement petits, le temps de concentration de l'eau est très rapide et l'atteinte du pic de crue se fait généralement en quelques heures. Les sédiments sont transportés par suspension, saltation et charriage, mais la concentration en sédiments est peut-être suffisamment élevée pour engendrer des écoulements hyperconcentrés et des laves torrentielles. Ces types d'écoulements sont destructeurs et peuvent altérer significativement la morphologie du cours d'eau.

4.2. Échelle du site

4.2.1. Chenal actif / principal

Granulométrie du lit

La granulométrie du lit est un indicateur fondamental de la dynamique fluviale, tant à l'échelle du tronçon homogène qu'à l'échelle du site. Les observations à réaliser sont les mêmes, pour les détails concernant les observations à réaliser, se référer à la section 4.1. L'intérêt de relever cette information à de multiples échelles réside dans les différences qui peuvent survenir. Par exemple, dans un tronçon généralement sablonneux, un lit de gravier localisé peut signifier que le cours d'eau s'est incisé jusqu'à atteindre une taille granulométrique qu'il n'arrive pas à transporter. Cette incision peut se propager vers l'amont et enclencher l'activation d'autres processus fluviaux affectant la mobilité. Inversement, dans un tronçon généralement graveleux, il est possible que le chenal s'écoule ponctuellement sur un lit de roc ou d'argile.

Influence de bois en rivière

Le bois en rivière peut avoir une influence significative sur la dynamique fluviale, notamment en ce qui concerne la mobilité. Selon l'orientation et la taille de l'obstruction, la présence de bois au sein du chenal peut exacerber ou inhiber l'érosion. En faisant obstruction à l'écoulement de l'eau, le bois mort peut créer des zones de faibles vitesses où l'action hydraulique est insuffisante pour déloger les sédiments du lit ou de la berge. Il est aussi possible que le bois mort représente un obstacle physique qui bloque et dévie complètement l'écoulement. Inversement, en faisant obstruction à l'écoulement de l'eau, il est aussi possible que le bois mort concentre les forces hydrauliques dans la portion non obstruée du chenal, qu'il exacerbe ou engendre localement l'érosion des berges à proximité. L'ampleur de l'érosion engendrée détermine le niveau d'interaction du bois mort avec la dynamique hydrosédimentaire. Plusieurs options peuvent survenir de manière simultanée.

Aucun : Absence de bois en rivière sur le site.

Négligeable : Le bois mort ne protège pas la berge, mais n'a pas d'influence sur les taux d'érosion, son action à cet effet est négligeable ou nulle.

Exacerbe l'érosion : Le bois mort obstrue l'écoulement et le redirige vers une berge. La concentration de l'écoulement augmente la force érosive du cours d'eau et une ou des berges sont en érosion à proximité du bois mort.

Inhibe l'érosion : Le bois mort ralentit l'écoulement de l'eau ou l'obstrue complètement en le déviant vers une zone où il n'y a pas de signes manifestes d'érosion

Significative : Le bois mort obstrue l'écoulement de manière à modifier significativement la forme du chenal. Il peut forcer le développement d'un nouveau chenal, par l'activation d'avulsions.

4.2.2. Bancs majeurs

Les bancs d'accumulations sont le reflet direct de la capacité des cours d'eau à transporter des sédiments. On les retrouve de manière générale dans les secteurs où l'écoulement fluvial est en mesure de transporter des sédiments de manière ponctuelle. Les crues confèrent aux cours d'eau une puissance accrue sur une certaine période et c'est durant ces épisodes que sont mobilisés les sédiments. Lorsque les débits s'abaissent, la capacité de transport du cours d'eau diminue de pair avec la perte de puissance et des bancs d'accumulations peuvent se former au sein du chenal. La présence de bancs d'accumulation en soi ne témoigne pas forcément de la mobilité du chenal, les sédiments qui composent le banc peuvent être transportés durant les crues et s'accumuler sur ceux-ci au même rythme, le bilan sédimentaire est alors équilibré et le chenal peut demeurer stable. Certaines morphologies témoignent toutefois de l'ampleur des processus de migration.

Type de banc

Latéral : Les bancs latéraux se forment en marge du chenal à proximité des berges. Ils sont particulièrement perceptibles lorsque les niveaux d'eau sont bas et leur morphologie est plus ou moins bien définie. On les retrouve souvent dans les tronçons linéaires en période d'étiage et n'indique pas nécessairement que le chenal migre latéralement. Ils peuvent toutefois se former dans les tronçons linéaires qui tendent à reprendre de la sinuosité, dans les tronçons caractérisés par une succession de seuil et de mouilles, indiquant qu'à moyen terme le chenal peut se déplacer.

Convexité : Les bancs de convexité sont aussi annexés à la berge, mais leur morphologie est plus proéminente et développée que les bancs latéraux. On les retrouve généralement dans les méandres mobiles sur la berge convexe où s'accumulent les sédiments à mesure que la berge opposée s'érode. La stratification de la végétation qui s'ancre sur la portion sommitale du banc et s'annexe à la plaine alluviale témoigne du rythme de migration. Sur le sommet du banc, la végétation herbacée est éparse et se densifie à mesure que l'on s'éloigne du chenal. Ces zones stables migrent au même rythme que le chenal, et la croissance graduelle de la végétation forme une chronoséquence allant de la végétation herbacée sur le banc d'accumulation à une forêt alluviale arborescente sur la plaine alluviale.

Central : Les bancs centraux se forment au centre du chenal. Leur présence a pour effet d'augmenter la rugosité du lit et de diminuer la profondeur d'eau dans la portion centrale. Les bancs centraux peuvent être un symptôme de l'aggradation du chenal. Si la profondeur d'eau, les débordements peuvent survenir de manière plus fréquente, et, selon le contexte, des avulsions peuvent survenir. Ces bancs peuvent aussi être stabilisés par la végétation, ce qui peut avoir comme effet de forcer l'élargissement du chenal par l'érosion des berges de chaque côté. Les bancs centraux sont souvent associés à des styles fluviaux dynamiques tels que les rivières à tresses, plus rares au Québec, ou aux rivières divagantes.

Granulométrie

La granulométrie des bancs peut être mesurée ou estimée. Une méthode rapide permettant d'évaluer la granulométrie consiste à mesurer l'axe B (le second plus long) de 100 cailloux sélectionner aléatoirement (Wolman, M., 1954). Il est aussi possible de l'évaluer qualitativement en utilisant les classes présentées dans le guide. Si les bancs sont composés de sédiments significativement plus gros que ceux retrouvés dans le thalweg, ils peuvent être difficiles à mobiliser par le cours d'eau. Si de la migration latérale est en cours, le chenal recrutera plutôt des sédiments de l'aberge opposée.

Végétation

Absente : Le gravier est exposé et le banc présente peu ou pas de végétation. Un banc à nu est un indicateur d'un morphodynamisme actif au sein du chenal

Herbacée : La majorité du banc est couvert de végétation herbacée. La végétation herbacée indique le début de la stabilisation du banc et peut contribuer à retenir des sédiments fins qui favorisent l'enracinement des végétaux et la stabilisation du banc. La superficie du banc couverte de végétation herbacée peut grandement varier à l'échelle d'une saison et un banc végétalisé ainsi ne signifie pas nécessairement que le banc est à l'abri des forces hydrauliques, elle peut être arrachée lors d'une crue.

Arbustive : La majorité du banc est caractérisé par de la végétation arbustive. Les arbustes sont signe de stabilité, ils réduisent la vitesse d'écoulement, le cisaillement et les racines stabilisent les sédiments qui composent le banc.

Arborescente : Un banc dominé par la végétation arborescente est stabilisé et n'a pas migré depuis plusieurs décennies. Ils peuvent être annexés à la plaine alluviale et composent la ripisylve ou former des îlots végétalisés. Ils indiquent un grand niveau de

stabilité sur le banc. Les îlots végétalisés peuvent toutefois se situer dans des tronçons mobiles et les autres indicateurs de mobilité doivent être utilisés de pair avec la végétation pour identifier les processus actifs.

4.2.3.Plaine alluviale

Chenaux

Secondaires : Les chenaux multiples constituent l'une des caractéristiques principales de certains styles fluviaux (à tresse et anastomosé), mais peuvent aussi être le reflet d'ajustements morphologiques des cours d'eau suite à des perturbations. Des chenaux secondaires peuvent se former rapidement, lors d'avulsions et de recoupements de méandres, ou plus lentement, alors que des bancs centraux se végétalisent et divisent l'écoulement. D'un point de vue pratique, les chenaux secondaires sont définis comme étant des chenaux autres que le chenal principal et qui sont utilisés même lorsque les débits sont inférieurs au débit plein bord. Ils peuvent se retrouver dans le lit mineur de la rivière, mais aussi dans la plaine alluviale. Leur présence et leurs mécanismes de formation renseignent sur le potentiel de mobilité du chenal.

Débordement : Les chenaux de débordement sont formés dans la plaine alluviale et correspondent à de légères dépressions plus ou moins parallèles au chenal. Ils sont empruntés lorsque les niveaux d'eau sont plus élevés et permettent l'écoulement dans la plaine. Lorsque la pente des chenaux de débordements est plus forte que celle du chenal principal, des avulsions peuvent survenir rapidement. Les chenaux de débordements sont généralement moins bien définis que les chenaux secondaires et peuvent être en parti comblés de sédiments et de matière organique. Ces chenaux sont utilisés lorsqu'il y a inondation dans la plaine et, donc, lorsque le débit est plus grand que le débit plein bord.

Abandonnés : Les chenaux principaux ou secondaires peuvent être abandonnés par le cours d'eau, lors d'un recoupement de méandre par exemple. Ils demeurent néanmoins grandement connectés au système fluvial, notamment par la connectivité avec les eaux souterraines. Ils peuvent se combler de sédiments, de matière organique et être utilisés en période de crue. À terme, ils forment des milieux humides dans la plaine alluviale qui contribuent à atténuer les pics de crues. Ils sont les témoins d'avulsions historiques et leur présence met en évidence que le potentiel de mobilité est bel et bien présent même si les autres indicateurs sont peu perceptibles.

Avulsion : Les avulsions et les recoupements de méandres sont des processus de mobilité du chenal survenant surtout dans les cours d'eau divagants et à méandres dynamiques. Il s'agit d'un changement de position rapide du chenal principal. La présence d'une avulsion historique (plus de 50 ans) dans un tronçon homogène témoigne d'un potentiel de mobilité liée à l'occurrence de ces événements pouvant perturber la dynamique fluviale en amont et en aval de l'avulsion. La présence d'une avulsion récente (moins de 50 ans) souligne aussi le potentiel de mobilité liée à ces événements dans le tronçon, mais indique qu'il est très probable que le chenal soit toujours en ajustement morphologique et que le potentiel de mobilité est grand. L'occurrence d'une avulsion peut par exemple modifier la trajectoire d'érosion d'un méandre qui se situe en aval ou causer de l'érosion régressive en amont.

Érosion régressive : L'érosion régressive est un processus par lequel une rupture de pente (*knickpoint*) migre vers l'amont dans un chenal provoquant une incision marquée du lit. Un tel processus peut survenir lorsqu'il y a recoupement de méandre par dissection de la plaine alluviale. Lors d'un tel recoupement de méandre, la longueur du nouveau chenal est généralement plus courte que celle de l'ancien tracé, de ce fait la pente est plus forte. Une encoche d'érosion se forme dans le chenal en aval, et celle-ci se propage vers l'amont jusqu'à l'atteinte d'une pente régulière. L'érosion régressive peut aussi survenir lors de l'abaissement du niveau de base. Le niveau de base correspond au niveau d'un plan d'eau dans lequel un cours d'eau s'écoule, une rupture de barrage, un étiage sévère peuvent modifier le niveau de base et provoquer de l'érosion régressive. Les indices d'érosion régressive indiquent que le cours d'eau est en ajustement.

Tributaires

La présence de tributaires au sein de la plaine alluviale revêt un intérêt particulier en ce qui concerne la mobilité particulièrement s'il s'agit d'un tributaire torrentiel ou d'un cône alluvial. Les tributaires torrentiels charrient des sédiments grossiers qui peuvent être significativement plus gros que ceux du lit du chenal principal. Dans l'incapacité de les mobiliser, il est possible que ce dernier se déplace progressivement vers la berge opposée. De plus, si ce tributaire s'écoule sur un cône alluvial, des avulsions sont susceptibles de survenir, modifiant ainsi sa position dans la plaine alluviale et sa confluence avec le cours d'eau principal. Les cônes alluviaux en soi sont caractérisés par une forte charge sédimentaire et se forment à la rupture de pente entre les sous-bassins versants et la vallée à mesure que le chenal change de position.

Dépôts

Les dépôts retrouvés sur la plaine alluviale renseignent sur le type de processus et l'échelle de temps à laquelle ils surviennent dans le cours d'eau.

Sables et limons : Les sédiments fins sont généralement associés à des dépôts de débordements transportés lors des inondations, ils contribuent verticalement à la formation de la plaine alluviale. Si la couche supérieure de la plaine alluviale est caractérisée par d'épaisses couches de sables et limons stratifiés, les inondations surviennent périodiquement dans le secteur.

Sables et graviers : Les sables et les graviers sont plus difficiles à transporter par les cours d'eau. Les graviers sont généralement transportés au sein du chenal, là où sa compétence est à son maximum. À mesure que le cours d'eau se déplace, les sables et graviers qui composent les bancs d'accumulation sont annexés à la plaine alluviale et contribuent à sa formation horizontale. Dans les cours d'eau alluviaux à lit graveleux, on retrouve ainsi nécessairement des sables et graviers dans la plaine alluviale. Par contre, lorsque ceux-ci sont présents à la surface de la plaine alluviale et qu'ils ne sont pas ensevelis par du sol ou des sédiments plus fins, ceci indique un fort potentiel de transport même à l'extérieur du chenal et un grand potentiel d'avulsion du chenal.

Humus épais : Les sols sont des entités qui nécessitent beaucoup de temps à se développer. Ils résultent d'une interaction entre matière minérale et organique et leur état renseigne sur la dynamique fluviale. Une épaisse couche d'humus organique à la surface

de la plaine alluviale indique que les perturbations causées par l'inondation et la migration sont suffisamment rares et que la matière organique à la surface peut se dégrader de manière à former un humus.

Sol stratifié : Les couches de sol sous la surface sont formées par les processus de pédogénèses qui nécessitent plusieurs décennies ou centaines à se développer. Un sol présentant des horizons développés indique qu'il est peu exposé aux processus fluviaux, car la mobilité au sein d'une plaine alluviale régénère l'entièreté du substrat et les inondations apportent des sédiments fins. Le battement de la nappe phréatique limite aussi la formation de strates distinctes. Un sol développé indique donc généralement peu de mobilité et l'identification des horizons se fait par une coupe dans la plaine alluviale.

4.2.4. Section transversale

Les sections transversales des cours d'eau sont des indicateurs riches lorsque vient le temps de comprendre la dynamique d'un cours d'eau. Une multitude de profils transversaux peuvent exister à tout point dans le cours d'eau, trois archétypes de sections transversales sont sélectionnés afin de représenter certains processus d'intérêt.

Type 1 : Ce type de section transversale représente un chenal où la profondeur du chenal est faible, la rupture de pente des berges est mal définie et la portion sommitale de la berge est surélevée par rapport à la plaine alluviale. Ce type de section transversale met en évidence que le cours d'eau est en aggradation, la quantité de sédiments est trop grande pour que le cours d'eau les évacue. Les cours d'eau en aggradation peuvent voir s'accroître la fréquence à laquelle surviennent les avulsions ou le nombre d'avulsions, mais aussi les inondations.

Type 2 : Ce type de section transversale représente un chenal assez stable. La hauteur des berges peut varier, mais aucun signe de mobilité n'est apparent. Les tronçons confinés par de hautes terrasses ou des parois rocheuses appartiennent à ce type. Si des bancs d'accumulations de sédiments sont présents, ils sont végétalisés sur la majorité de leur superficie.

Type 3 : Ce type de section transversale représente un chenal où la migration latérale domine. La berge en érosion est verticale où présente une portion supérieure en surplomb et la berge opposée est caractérisée par la présence d'un banc d'accumulation à nu.

4.2.5. Berges

Type de berge

Verticale : Les berges verticales formées dans les sédiments meubles indiquent généralement que le cours d'eau exerce une force hydraulique suffisante sur la berge pour arracher les sédiments. Lorsqu'elles sont opposées à un banc de convexité, on associe ce type de berge à la migration latérale du chenal.

Talus : Les talus sont associés à la présence de terrasses fluviales ou d'autres origines. Il s'agit de pente raide dont la composition sédimentaire peut varier grandement. Les talus ont souvent plusieurs mètres de hauteur et sont considérés comme des formes qui limitent la mobilité du chenal. Toutefois, selon la cohésion des berges, l'effet restrictif sur le déplacement du cours d'eau peut varier.

Surplomb : Les berges en surplomb se forment généralement lorsque le niveau de cohésion de la portion basale de la berge est plus faible que la portion sommitale. Une différence de granulométrie ou une cohésion accrue par la présence de réseaux racinaires peuvent expliquer la formation d'une berge en surplomb. Ce type de berge s'effectue par érosion basale et le décrochement éventuel de la portion sommitale ce qui peut se traduire par des taux d'érosion épisodiques élevés et l'apport de bois dans le chenal.

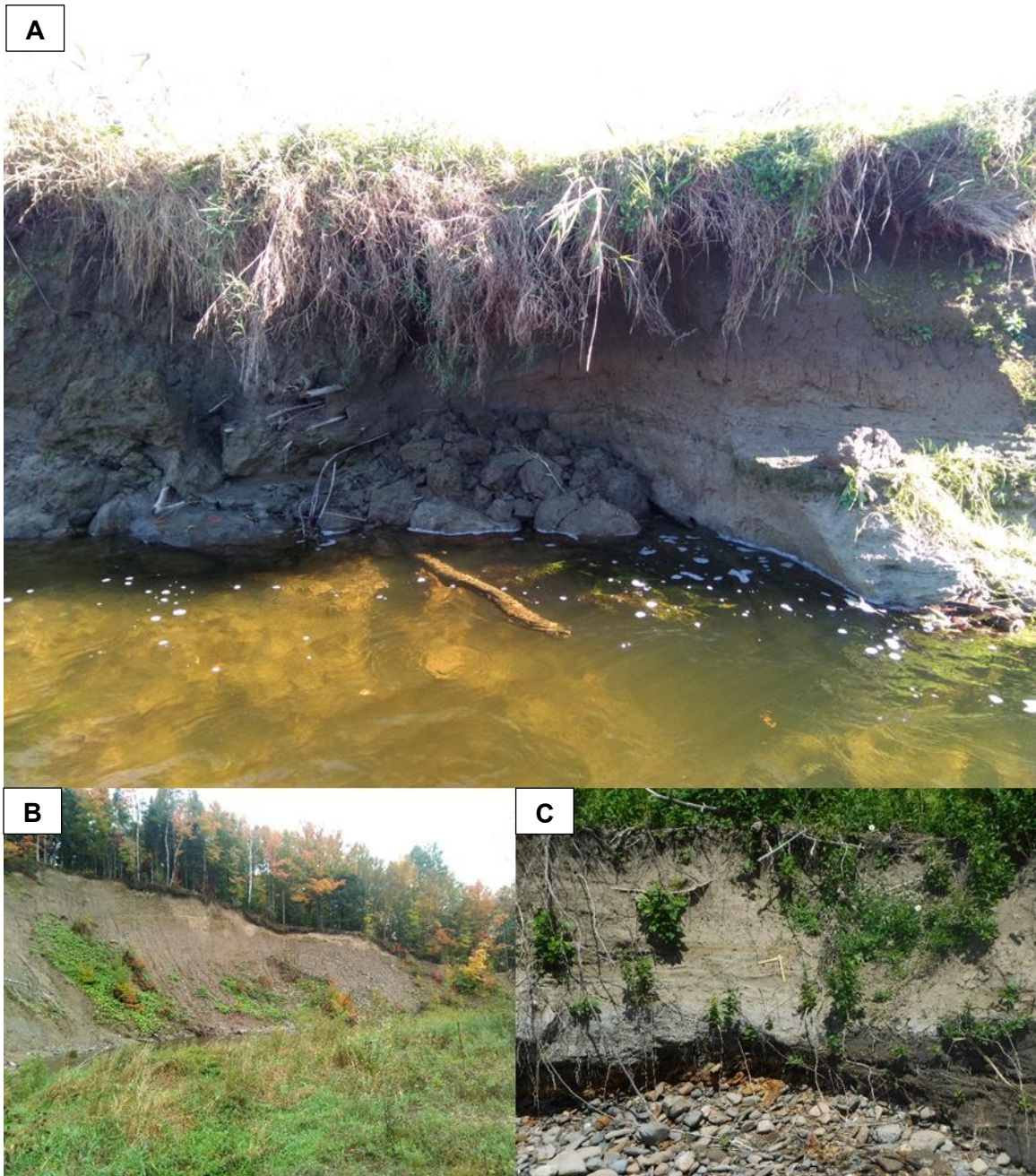


Figure 5. Types de berges ; A) Berge verticale ; B) Talus associé à une terrasse ; C) berge en surplomb à base meuble

Stratification

Cohésive et homogène : La berge est composée de sédiments cohésifs sur toute sa hauteur. Les berges cohésives peuvent être composées directement de roc, d'argiles et de limon.

Non cohésives et homogènes : La berge est composée de sédiments non cohésifs sur toute sa hauteur. Les berges non cohésives peuvent être composées de sables, de graviers de blocs ou d'une combinaison de plusieurs tailles granulométriques. Les berges non cohésives et homogènes sont faciles à éroder et caractérisent les cours d'eau mobiles.

Stratifiée à base cohésive : Les berges stratifiées à base cohésives sont composées de deux ou plusieurs strates distinctes où la strate basale est cohésive. Il peut s'agir d'une couche de sables et gravier déposés sur une couche d'argiles et de limon. Ce type de berge limite la mobilité des cours d'eau dus à la cohésion de la strate basale.

Stratifiée à base meuble : Les berges stratifiées à base meuble sont composées de deux ou plusieurs strates distinctes où la strate basale est meuble. Il peut s'agir d'une couche d'argile et de limons superposée à des dépôts de graviers comme d'anciens dépôts deltaïques ou du till. Ces berges indiquent un potentiel de mobilité du chenal, la portion basale est plus susceptible d'être érodée par la force hydraulique de l'écoulement et la portion sommitale de basculer dans le chenal par manque de support. Comme les berges non cohésives et homogènes, les bases stratifiées à base meubles sont faciles à éroder et caractérisent les cours d'eau mobiles

Mouvement de masses

Décrochement : Les mouvements de masses par décrochement surviennent lorsque la portion supérieure de la berge ou du talus manque de support provenant de la base. Selon l'ampleur et le rythme auquel se produisent les décrochements dans le tronçon, ils peuvent avoir un impact significatif sur le recul de la berge.

Cicatrice de glissement de terrain : Les glissements de terrain peuvent se manifester de plusieurs manières. On peut les diviser en deux grandes catégories, les glissements faiblement ou non rétrogressif, comme les glissements pelliculaires, affectent essentiellement la portion superficielle de la berge ou du talus. Malgré leur attribut

« faiblement rétrogressif », à l'échelle du chenal, ils peuvent causer un recul significatif de la berge lorsqu'ils se produisent. De plus, ils apportent au chenal une grande quantité de sédiments qui peut affecter le fonctionnement du chenal si leur quantité leur taille sont trop grandes. Les mouvements de masses fortement rétrogressifs quant à eux impliquent nécessairement un fort recul de la berge. Les coulées argileuses font partie de cette catégorie. Il est très important de reconnaître si des mouvements de masses sont des processus qui surviennent pour caractériser adéquatement la mobilité du chenal. De manière générale, ces processus surviennent avec une faible récurrence, mais une forte intensité.

Végétation

Bande riveraine : La présence d'une bande riveraine végétalisée près du chenal a pour effet de permettre le développement d'un réseau racinaire qui augmente le niveau de cohésion de la berge. Elle tend à ralentir l'érosion lors des crues. La présence d'une bande riveraine n'indique pas que le chenal est stable, mais qu'il se trouve dans des conditions qui favorisent sa stabilité. Il est possible que des tronçons très mobiles soient caractérisés par une bande riveraine large. Ceux-ci le seraient encore plus si la bande riveraine était absente. Le stade de maturité de la bande riveraine, de part et d'autre du chenal renseigne toutefois sur le rythme de la migration. Si les arbres qui la composent sont d'âge équivalent sur les berges droites et gauches, la mobilité se fait relativement lentement. Si au contraire, une des berges possède une bande riveraine composée d'arbres âgés et l'autre d'espèces pionnières ou jeunes, le chenal migre latéralement. Une bande riveraine arborescente et homogène de part et d'autre du chenal témoigne de la stabilité relative du chenal, car la végétation se développe au même rythme.

Cicatrices de glace : Lorsque le couvert de glace se désolidarise, par fracturation, des embâcles de glaces peuvent se former dans le chenal. En présence de bande riveraine végétalisée, les glaces en mouvement peuvent laisser des cicatrices sur les arbres lors de l'impact. La quantité de cicatrices et leur âge respectif renvoient à l'ampleur de la dynamique glacielle dans le secteur. Généralement, les embâcles de glace surviennent lorsque des obstructions telles que des piliers de ponts se situent au sein du chenal, dans les méandres abrupts ou dans les zones de rétrécissement du chenal. Lorsque des cicatrices glacielles sont perceptibles sur les arbres à proximité, il est possible de déduire une relative stabilité du chenal, surtout lorsque celles-ci sont anciennes.



Figure 6. Cicatrice de glace sur la rivière Nicolet

4.2.6. Anthropisation

Infrastructures

En phase : Les infrastructures construites à proximité des cours d'eau témoignent de la position du cours d'eau à un moment donné de son histoire. Si une vieille infrastructure est en phase avec le cours d'eau, c'est-à-dire que son emplacement par rapport au chenal lui permet de remplir sa fonction, le cours d'eau est relativement stable. Si au contraire, une vieille infrastructure est décalée par rapport au cours d'eau, des assises de ponts ou un enrochement au milieu de la plaine alluviale par exemple, le cours d'eau s'est déplacé depuis la construction.

Affouillement : L'affouillement est un processus qui peut survenir à la base des infrastructures situées à l'intérieur des limites du chenal comme les assises de ponts ou les enrochements. En contact avec l'infrastructure, l'écoulement est redirigé vers le lit du cours d'eau, ce qui cause un surcreusement localisé à la base de l'ouvrage. L'affouillement peut déstabiliser et endommager les infrastructures, elle concerne essentiellement la mobilité verticale du chenal.

Enseveli : Les infrastructures ensevelies sont un témoin de la migration verticale ou de l'obstruction du chenal. Les sédiments s'accumulent en grande quantité à proximité des infrastructures, jusqu'à les recouvrir en partie ou au complet. Ce phénomène peut se produire notamment en amont des ponts et ponceaux qui sont trop étroits pour la charge sédimentaire du cours d'eau et l'espace sous l'infrastructure peut être significativement réduit.

Accumulation de bois : La présence d'accumulation de bois à proximité des infrastructures peut menacer leur intégrité en redirigeant l'écoulement et en exacerbant l'érosion en amont ou en aval des infrastructures ou en amplifiant l'affouillement du lit et la solidité de la structure. La présence de bois est une composante naturelle des cours d'eau mobiles s'écoulant en présence d'une ripisylve et les embâcles ne représentent pas systématiquement des enjeux en ce qui concerne la mobilité des cours d'eau. Lorsque plusieurs embâcles sont repérés sur un tronçon de cours d'eau, un bilan ligneux peut être effectué pour mieux cerner le phénomène.

Intervention

Nettoyage : Dans les tronçons caractérisés par la présence d'embâcle de bois, des activités de « nettoyage » sont parfois réalisées afin de retirer le bois du chenal, parfois de manière systématique. Les bénéfices du bois en rivières sont de plus en plus reconnus, mais la pratique perdure. Les indicateurs de ce type d'opération peuvent être difficiles à repérer sur le terrain, mais les interactions avec les personnes utilisant le cours d'eau peuvent être riches. Parfois, des arbres coupés à la scie mécanique peuvent aussi témoigner d'activité de nettoyage. Bien que cette pratique ne soit pas directement liée à la mobilité du chenal, elle renseigne sur les efforts déployés pour maintenir le chenal dans un état statique.

Coupe / entretiens de bande riveraine : La présence d'une bande riveraine large et diversifiée permet d'augmenter la résistance de la berge à la force hydraulique en période de crue. La présence de réseaux racinaires augmente le niveau de cohésion des sédiments meubles et l'altération de la bande riveraine peut avoir un impact indicatif sur les taux de mobilité.

Indice de dragage : Le dragage de sédiments dans les chenaux est une pratique visant à augmenter la profondeur du chenal où à désobstruer des traverses qui se seraient comblées. De manière mécanisée, les sédiments sont retirés du chenal et souvent déposés sur les berges formant des amas de sédiments facilement observables. Cette pratique renseigne sur la forte dynamique sédimentaire du tronçon. Lorsque le dragage est nécessaire, les volumes de sédiments accumulés sont supérieurs aux volumes transportés et des processus d'aggradation et d'avulsions peuvent survenir dans le tronçon.

5. Recommandations et réflexions

Il est fondamental de retenir que la mobilité fait partie des processus naturels des cours d'eau et qu'à plusieurs égards, elle est essentielle au maintien de l'équilibre dynamique du chenal et de ses fonctions écosystémiques. Elle peut aussi être le reflet de perturbations à l'échelle des bassins versants et des tronçons et constitue de ce fait processus nécessaire pour l'ajustement du cours d'eau à de nouvelles conditions. Les fiches de caractérisation des cours d'eau proposée visent à caractériser cette mobilité en évaluant l'environnement fluvial à l'échelle du tronçon et à caractériser le cours d'eau à l'échelle du site sur le terrain.

Une première version de la fiche a été soumise au printemps 2022 à des équipes du MELCCFP. Depuis, cette fiche a été utilisée et appliquée lors de démarches de caractérisation de la dynamique fluviales sur une quinzaine de cours d'eau. Certaines observations ont été retirées des fiches, car elles ne sont pas spécifiquement des indicateurs de mobilité, elles créent de la redondance entre les deux fiches ou encore parce qu'elles sont difficilement réalisables à partir de photographies aériennes. Les fiches en annexes sont donc allégées pour une plus grande fluidité lors de la caractérisation. Les deux fiches doivent tout de même être utilisées de pair, car il est essentiel de saisir le contexte géomorphologique dans lequel un site spécifique s'inscrit. Les tronçons homogènes sont des segments de cours d'eau présentant des caractéristiques similaires sur toute leur longueur et correspondent à une échelle de référence souvent utilisée en hydrogéomorphologie. Au sein d'un tronçon homogène, il peut néanmoins exister une certaine variabilité conditionnée par des fluctuations de la pente, des apports en eau et en sédiments d'un tributaire par exemple. Pour cette raison,

la fiche de caractérisation du site doit être contextualisée à l'aide de la fiche de l'échelle du tronçon et lors de la campagne terrain, il est recommandé de parcourir le cours d'eau quelques centaines de mètres en amont et en aval du site afin d'évaluer la représentativité du site.

D'autres échelles d'analyse peuvent servir à modéliser la compréhension de la dynamique fluviale et du potentiel de mobilité du chenal. Lors de la caractérisation du bassin versant, les observations relatives à l'occupation du sol, la présence et le type de barrages présents sur le cours d'eau et l'identification des sources alimentent les réflexions et décisions relatives à la mobilité des cours d'eau. Par exemple, dans des tronçons caractérisés par de grands bancs d'accumulation en milieu forestier, il est possible de déduire une grande production de bois en rivière. Ces arbres introduits au système fluvial font partie du morphodynamisme. Si de tels tronçons se trouvent en amont d'un site d'intérêt, l'impact du transit des arbres ou de leur accumulation doit être adressé. À une échelle plus fine, il est possible de prendre des mesures sur la taille des cailloux et d'en déduire des informations relatives à la puissance et la compétence du chenal. Un espace a été accordé à la recension de la taille granulométrique dans les fiches de caractérisation et cette information peut être très utile pour des analyses plus poussées. Les mesures granulométriques n'ont toutefois pas à être effectuées de manière systématique, car la caractérisation générale de la classe de taille granulométrique renseigne suffisamment pour évaluer le potentiel de migration.

Les fiches sont actuellement dans une forme papier, des cahiers de caractérisation peuvent être imprimés sur du papier hydrofuge avant de se rendre sur le terrain. Suite au terrain, il est important d'intégrer ces fiches dans une base de données numérique rapidement afin d'éviter des pertes de données. Cependant, des formulaires numériques qu'il sera possible de remplir directement sur le terrain à l'aide d'une tablette ou d'un téléphone via des logiciels compatibles avec les systèmes d'information géographique sont en développement. Les applications de la plateforme ESRI (Field Map, Survey 123) sont privilégiées pour l'instant. Ceci permettra de minimiser les erreurs de notation et de transfert de données et augmentera l'efficacité de l'enregistrement des données au retour du terrain.

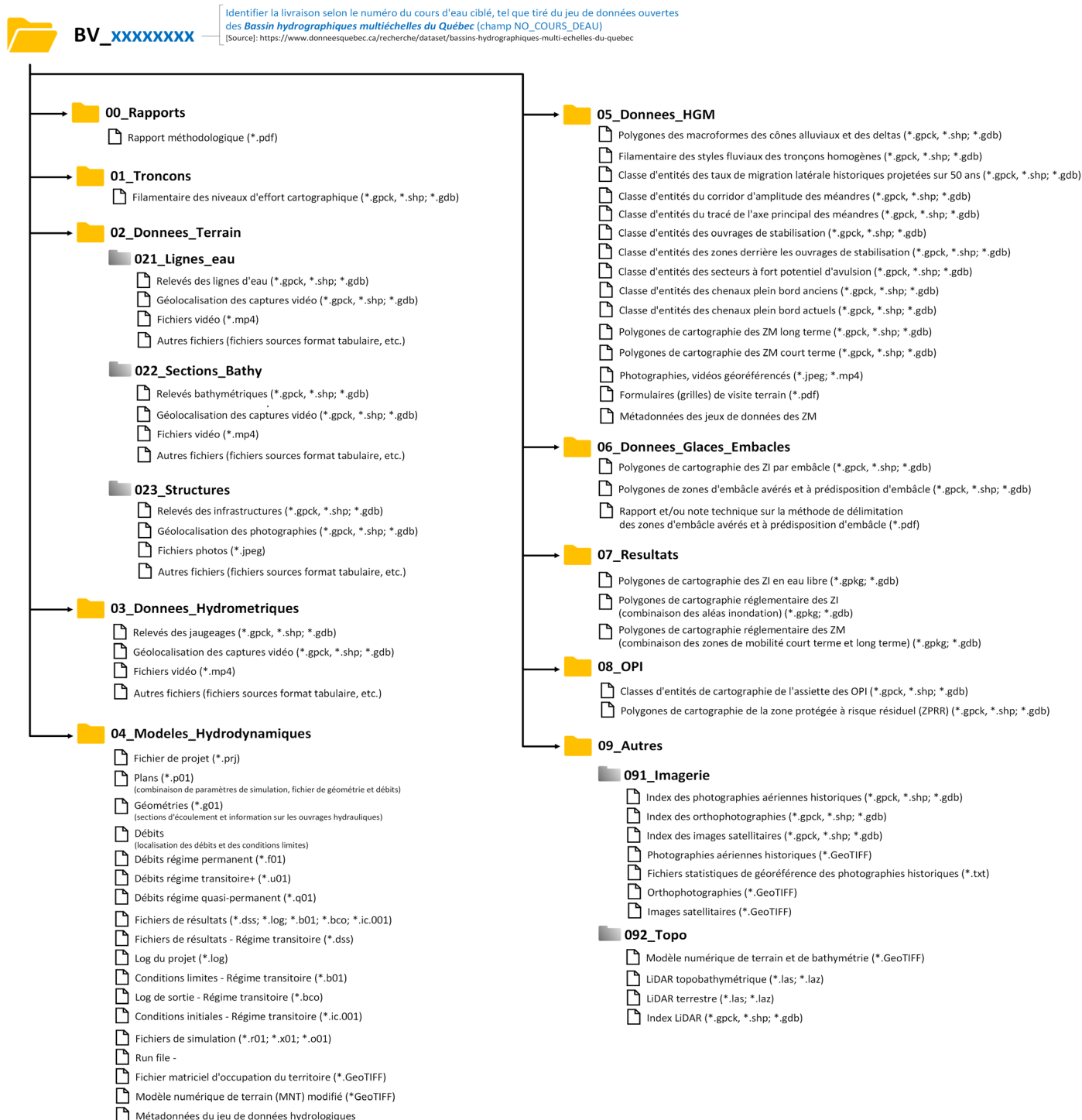
Enfin, en vue de capitaliser sur les structures de données déjà existantes, il apparaît pertinent d'associer chaque fiche de caractérisation à l'identifiant des points contenus dans la CRHQ (MELCC, 2021). La CRQH couvre la majorité du réseau hydrographique

du Sud du Québec et des points de référence sont situés le long du filamentaire à un intervalle de distance de 100 m. Préalablement au terrain, les identifiants uniques des points (Id_PtRef) et les coordonnées (Lat_DD et Long_DD) concernées par le projet devraient être notés sur la fiche de caractérisation. À terme, il serait pertinent que les fiches de caractérisation des cours d'eau soient compilées sous forme de table attributaire et qu'elles soient intégrées à la CRQH afin de centraliser l'ensemble des observations terrain sous une même structure. Ces observations peuvent servir de données de validation pour la caractérisation de la dynamique fluviale et des unités écologiques aquatiques (UEA).

6. Références

- Belletti, B., Rinaldi, M., Buijse, A. D., Gurnell, A. M., & Mosselman, E. (2015). A review of assessment methods for river hydromorphology. *Environmental Earth Sciences*, 73(5), 2079–2100. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3558-1>
- Church, M. (2006). Bed Material Transport and the Morphology of Alluvial River Channels. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 34(1), 325–354. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.33.092203.122721>
- District Municipality of Muskoka. (2022). *Erosion Survey Study Muskoka River Watershed*.
- Kline, M., Alexander, C., Pytlik, S., & Pomeroy, S. (2009). Vermont Stream Geomorphic Assessment Phase 2 Handbook: Rapid Stream Assessment. In *Vermont Agency of Natural Resources*. <https://dec.vermont.gov/watershed/rivers/river-corridor-and-floodplain-protection/geomorphic-assessment>
- Kondolf, G. M., & Piégay, H. (2003). *Tools in fluvial geomorphology*. Wiley.
- Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, des F. et des P. (2021). *Cadre de référence hydrologique du Québec: guide de l'utilisateur - version 1.1*. <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/crhq>
- Wolman, M., G. (1954). A method of sampling coarse river-bed material. *Transaction, American Geophysical Union*, 35(6), 951–956.

Annexe 7 – Arborescence du référentiel de données



Annexe 8 – Contenu d'un rapport technique

Un rapport technique devra être produit et acheminé au MELCCFP en format .pdf. Il est un extrant livrable au même titre que les autres données *in situ* et géospatiales exigées selon le référentiel de données. Le rapport technique doit contenir l'ensemble des éléments scientifiques, techniques et cartographiques servant à documenter l'extrait cartographique. La structure du rapport technique devra couvrir l'ensemble des aléas d'inondation (en eau libre, par embâcle de glace, en présence de structures anthropiques comme les OPI ou les barrages influents), de même que l'aléa mobilité court et long terme si traité simultanément. Le traitement de la détermination et de la cartographie des ZI et ZM doit se faire à l'échelle spatiale du bassin versant. Ainsi, plusieurs cours d'eau d'un même bassin versant devront être regroupés pour chaque thématique. La section suivante propose une table des matières qui suit un cheminement logique et en cohérence avec les différents chapitres et sections, ainsi que selon l'ensemble des exigences méthodologiques minimales du **volet technique et scientifique** du Guide méthodologique. Nous recommandons de conserver les sections même lorsque celles-ci ne sont pas applicables pour confirmer qu'un élément n'est pas traité et faciliter le processus de révision. À noter que l'ensemble des données (*in situ* et géospatiales) doivent également être déposées au MELCCFP selon la structure du référentiel de données et dont l'arborescence est présentée à l'annexe 7.

1. Sommaire exécutif : information synthétisée qui met en lumière les constats, les difficultés et les pistes de solution pour améliorer le produit cartographique
2. Mise en contexte : identification du mandataire ou du délégataire, description générale et envergure du mandat, et localisation exacte du filant des cours d'eau traités
3. Niveau d'effort cartographique
4. Caractéristiques physiques du bassin versant et des cours d'eau
 - 4.1. Caractéristiques physiques
 - 4.2. Utilisation du territoire
 - 4.3. Cours d'eau A (Ajouter une sous-section pour chacun des cours d'eau du bassin versant caractérisé.)
5. Hydrologie
 - 5.1. Estimation d'une crue en hydrologie naturelle
 - 5.2. Intégration des changements climatiques
 - 5.2.1. Intégration des changements climatiques à l'hydrologie
 - 5.2.2. Intégration des changements climatiques en milieux maritimes
 - 5.3. Dynamique temporelle et instantanéité du phénomène de crue

- 5.4. Construction de la chronique hydrologique et analyses fréquentielles
 - 5.4.1. Prise en compte des données hydrométriques
 - 5.4.2. Analyses fréquentielles
 - 5.4.3. Analyse des bassins versants de superficie inférieure à 100 km²
- 5.5. Prise en compte de singularités présentes dans le réseau hydrographique
 - 5.5.1. Plans d'eau
 - 5.5.2. Embouchure
 - 5.5.3. Confluences
- 5.6. Gestion de l'incertitude
- 6. Hydrologie influencée par une source de perturbation anthropique : présence d'un ou de plusieurs OPI ou barrages influents (Voir la liste provisoire des barrages influents à l'annexe 4.)
 - 6.1. Présence de barrages opérés
 - 6.1.1. Validation du classement de barrages recensés
 - 6.1.2. Présence de barrages de classe 1
 - 6.1.2.1. *Estimation des débits et/ou niveaux*
 - 6.1.2.2. *Impact des changements climatiques*
 - 6.1.3. Barrages de classe 2
 - 6.1.3.1. *Estimation des débits et/ou niveaux*
 - 6.1.3.2. *Impact des changements climatiques*
 - 6.1.4. Barrages de classe 3
 - 6.1.4.1. *Estimation des débits et/ou niveaux*
 - 6.1.4.2. *Impact des changements climatiques*
 - 6.2. Présence de barrages non opérés
 - 6.2.1. Estimation des débits et/ou niveaux
 - 6.2.2. Impact des changements climatiques
 - 6.3. Présence de mesures de gestion des eaux pluviales
 - 6.3.1. Estimation des débits et/ou niveaux
 - 6.3.2. Impact des changements climatiques
- 7. Mobilité
 - 7.1. Identification des unités de paysage
 - 7.2. Segmentation selon le style fluvial
 - 7.3. Validation terrain
 - 7.4. Détermination de la mobilité court terme
 - 7.5. Détermination de la cartographie long terme
- 8. Embâcles

9. Modélisation hydrodynamique

9.1. Cours d'eau A (Ajouter une sous-section pour chacun des cours d'eau du bassin versant caractérisé.)

9.1.1. Secteur X – Effort majeur

9.1.1.1. *Anciens programmes de cartographies*

9.1.1.2. *Visite terrain*

9.1.1.3. *Approche de modélisation*

9.1.1.4. *Modèle numérique de terrain et relevés bathymétriques*

9.1.1.5. *Structures*

9.1.1.6. *Utilisation du territoire*

9.1.1.7. *Calage et validation*

9.1.1.8. *Cartographie réglementaire*

9.1.2. Secteur Y – Effort modéré

9.1.2.1. *Approche de modélisation*

9.1.2.2. *Modèle numérique de terrain et bathymétrie*

9.1.2.3. *Géométrie et structures*

9.1.2.4. *Calage*

9.1.2.5. *Cartographie réglementaire*

10. Conclusion

11. Glossaire : si des termes supplémentaires ont été utilisés et qui ne sont pas définis à l'annexe 1 du Guide

12. Annexe (si nécessaire)

Annexe 9 – Exemples de calcul de l’incertitude liée au géoréférencement

Exemple 1 : Analyse avec deux images (1963 et 2023)

1. Évaluation statistique de la précision du géoréférencement à l’aide de la REQM_h

Image de 1963

La photographie aérienne de 1963 a été géoréférencée en utilisant 14 points de contrôle répartis sur l’ensemble de la zone d’étude.

Statistique	Valeur
Nombre de points de contrôle (n)	14
REQM _{x1} (erreur en Est, m)	1,86
REQM _{y1} (erreur en Nord, m)	2,15
REQM_{h1} (erreur horizontale, m)	2,84

Le calcul du REQM_h est réalisé selon la formule suivante :

$$\text{REQM}_h = \sqrt{\text{REQM}_x^2 + \text{REQM}_y^2} = \sqrt{1,86^2 + 2,15^2} = \mathbf{2,84\ m}$$

Image de 2023

L’orthophotographie de 2023 a été géoréférencée avec 35 points de contrôle.

Statistique	Valeur
Nombre de points de contrôle (n)	35
REQM _{x2} (erreur en Est, m)	0,95
REQM _{y2} (erreur en Nord, m)	1,12
REQM_{h2} (erreur horizontale, m)	1,47

$$\text{REQM}_h = \sqrt{\text{REQM}_x^2 + \text{REQM}_y^2} = \sqrt{0,95^2 + 1,12^2} = \mathbf{1,47\ m}$$

2. Combinaison de l'erreur des images comparées

Pour deux images, la méthode de propagation d'erreur indépendante est la plus appropriée. L'erreur propagée se calcule comme suit :

$$\text{Erreur propagée} = \sqrt{\text{REQM}_{h1}^2 + \text{REQM}_{h2}^2} = \sqrt{2,84^2 + 1,47^2} = \mathbf{3,20\ m}$$

3. Calcul de la marge de sécurité annualisée pour la ZM court terme

Données initiales

- Déplacement latéral mesuré : 42,60 m
- Période d'observation : 60 ans (1963-2023)
- Taux de mobilité historique annualisé : $42,60\ \text{m} \div 60\ \text{ans} = \mathbf{0,71\ m/an}$

Annualisation de l'erreur propagée

L'erreur propagée est annualisée pour être ajoutée au taux de mobilité :

$$\text{Erreur annualisée} = \frac{\text{Erreur propagée}}{\text{Période d'observation}} = \frac{3,20\ \text{m}}{60\ \text{ans}} = \mathbf{0,05\ m/an}$$

Calcul du taux de mobilité court terme ajusté

$$\text{Taux de mobilité ajusté} = \text{Taux de mobilité historique} + \text{Erreur annualisé} = 0,71\text{m/an} + 0,05\ \text{m/an} = \mathbf{0,76\ m/an}$$

Calcul de la zone de mobilité court terme final

$$\text{Zone de mobilité court terme finale} = \text{Taux de mobilité court terme ajusté} \times 50\ \text{ans} = 0,76\ \text{m/an} \times 50\ \text{ans} = \mathbf{38\ m}$$

Une zone de 38 m doit être appliquée à partir du niveau plein bord récent, dans le sens du déplacement du cours d'eau, pour le secteur où le taux de mobilité a été calculé. Cette étape doit être répétée pour tous les transects déterminés à l'étape « Calcul des taux de migration latérale historiques » du volet technique.

4. Calcul de la marge latérale de sécurité pour la ZM long terme

Dans le cas d'un corridor d'amplitude des méandres défini à partir de deux images, mais dont la délimitation finale repose sur l'orthophotographie de 2023 ($\text{REQM}_h = 1,47\ \text{m}$), la marge latérale de sécurité est calculée à partir de la REQM_h de cette image récente.

$$\text{Marge latérale de sécurité} = \text{REQM}_{h2023} = \mathbf{1,47\ m}$$

Cette marge est ensuite ajoutée intégralement de chaque côté du corridor. Par exemple, si le corridor d'amplitude a une largeur de 60 m, la zone de mobilité long terme finale devient :

$$\begin{aligned} \text{ZM long terme finale} &= \text{corridor d'amplitude des méandre} + 2 \times \text{marge latérale de sécurité} = 60 + 2 \times 1,47 \\ &= 62,94 \text{ m} \end{aligned}$$

Exemple 2 : Analyse avec trois images (1963, 1995 et 2023)

1. Évaluation statistique de la précision du géoréférencement à l'aide de la REQM_h

Image de 1963

Statistique	Valeur
Nombre de points de contrôle (<i>n</i>)	14
REQM _{x1} (erreur en Est, m)	1,86
REQM _{y1} (erreur en Nord, m)	2,15
REQM_{h1} (erreur horizontale, m)	2,84

Image de 1995

Statistique	Valeur
Nombre de points de contrôle (<i>n</i>)	18
REQM _{x2} (erreur en Est, m)	1,42
REQM _{y2} (erreur en Nord, m)	1,62
REQM_{h2} (erreur horizontale, m)	2,15

Image de 2023

Statistique	Valeur
Nombre de points de contrôle (<i>n</i>)	35
REQM _{x3} (erreur en Est, m)	0,95
REQM _{y3} (erreur en Nord, m)	1,12
REQM_{h3} (erreur horizontale, m)	1,47

2. Combinaison de l'erreur des images comparées

Pour trois images ou plus, la méthode EIV (erreurs dans les variables) est recommandée. Voici l'application de cette méthode avec les trois images de 1963, 1995 et 2023.

Données de position du chenal à un transect précis

Année (x)	Position (y) en mètres	REQM _h
1963	*0,00	2,84
1995	22,50	2,15
2023	42,60	1,47
*La position 0 peut correspondre à la position du cours d'eau sur l'image la plus ancienne ou à une autre référence (p. ex., une route ou une ligne de référence).		

Calcul des moyennes

$$\text{Moyenne des années} = \bar{x} = \frac{1963 + 1995 + 2023}{3} = \mathbf{1993,67}$$

$$\text{Moyenne des positions} = \bar{y} = \frac{0,00 + 22,50 + 42,60}{3} = \mathbf{21,77}$$

Calcul des sommes des carrés et des produits croisés

$$S_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2 = 940,44 + 1,78 + 860,44 = \mathbf{1802,67}$$

$$S_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2 = 473,79 + 0,87 + 434,03 = \mathbf{908,69}$$

$$S_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = 667,51 + 1,24 + 611,11 = \mathbf{1279,87}$$

Calcul du ratio des variances d'erreur λ

$$\lambda = \frac{\text{moyenne d'une petite erreur constante (0,0001)}}{\text{moyenne des erreurs (REQM}_h\text{)}}$$

$$\lambda = \frac{0,0001}{\frac{2,84+2,15+1,47}{3}} = \frac{0,0001}{2,15} \approx \mathbf{0,0000464}$$

Calcul complet de la pente β à l'aide de la formule de Deming (taux de mobilité)

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{S_{yy} - \lambda S_{xx} + \sqrt{(S_{yy} - \lambda S_{xx})^2 + 4\lambda S_{xy}^2}}{2S_{xy}} \\ &= \frac{(908,69 - 0,0000464 \cdot 1802,67) + \sqrt{(908,69 - 0,0000464 \cdot 1802,67)^2 + 4 \cdot 0,0000464 \cdot 1279,87^2}}{2 \cdot 1279,87} \\ &= \mathbf{0,71 \text{ m/an}}\end{aligned}$$

Ou à l'aide du calcul simplifié (approximation avec $\lambda \approx 0$) :

$$\beta \approx \frac{S_{xy}}{S_{xx}} = \frac{1279,87}{1802,67} = \mathbf{0,71 \text{ m/an}}$$

Calcul de l'ordonnée à l'origine α

$$\alpha = \bar{y} - \beta \bar{x} = 21,77 - 0,71 \times 1993,67 = \mathbf{-1393,71}$$

Ce qui signifie que l'équation de la droite de régression est :

$$\mathbf{y = 0,71x - 1393,71}$$

Calcul des résidus et de la variance résiduelle

Pour chaque point, on calcule la valeur prédite et le résidu.

Point 1 (1963) :

$$\text{Valeur prédite} = \widehat{y}_1 = 0,71 \times 1963 - 1393,71 = \mathbf{-0.0062 \text{ m}}$$

$$\text{Résidu} = 0 - -0.0062 = \mathbf{0.0062 \text{ m}}$$

Point 2 (1995) :

$$\text{Valeur prédite} = \widehat{y}_2 = 0,71 \times 1995 - 1393,71 = \mathbf{22,71 \text{ m}}$$

$$\text{Résidu} = 22.7 - 22.7 = \mathbf{-0.0133 \text{ m}}$$

Point 3 (2023) :

$$\text{Valeur prédite} = \widehat{y}_3 = 0,71 \times 2023 - 1393,71 = \mathbf{42,59 \text{ m}}$$

$$\text{Résidu} = 42.6 - 42.59 = \mathbf{0.0071 \text{ m}}$$

Variance résiduelle :

$$\sigma^2 = \frac{\sum \text{résidus}^2}{n - 2} = \frac{0,0062^2 + (-0,0133)^2 + 0,0071^2}{3 - 2} = \frac{0 + 0,0196 + 0,0064}{1} = \frac{0,0003}{1} = \mathbf{0,0003 \text{ m}^2}$$

Calcul de l'erreur standard de la pente

$$SE(\beta) = \sqrt{\frac{\sigma^2}{S_{xx}}} = \sqrt{\frac{0,0003}{1802,67}} = \mathbf{0,0004 \text{ m/an}}$$

Calcul de l'intervalle de confiance à 95 %

Pour $n = 3$, les degrés de liberté sont $n-2 = 1$, et le quantile $t_{(1,0.975)} = 12,71$ (selon la [table de distribution t de Student](#)).

$$IC_{95\%} = \beta \pm t_{(n-2,0.975)} \cdot SE(\beta) = 0,71 \pm 12,71 \times 0,0004 = \mathbf{0,71 \text{ m/an} \pm 0,0049}$$

L'intervalle de confiance à 95 % pour le taux de mobilité est donc [0,7051, 0,7149] m/an.

3. Calcul de la marge de sécurité annualisée pour la ZM court terme

Intégration de l'incertitude de géoréférencement

Avec la méthode EIV, la marge de sécurité annualisée ajoutée au taux de mobilité correspond à l'amplitude de l'intervalle de confiance à 95 %, calculée comme suit :

$$\text{Marge de sécurité annualisée} = t_{(n-2,0.975)} \cdot SE(\beta) = 12,71 \times 0,0004 = \mathbf{0,0049 \text{ m/an}}$$

Le taux de mobilité ajusté est alors :

$$\text{Taux de mobilité ajusté} = |\beta| + \text{Erreur annualisée} = 0,71 + 0,0049 = \mathbf{0,7149 \text{ m/an}}$$

Calcul de la zone de mobilité court terme finale

$$\text{Zone de mobilité court terme} = \text{Taux de mobilité ajusté} \times 50 \text{ ans}$$

$$\text{Zone de mobilité court terme} = 0,7149 \text{ m/an} \times 50 \text{ ans} = \mathbf{35,74 \text{ m}}$$

Une zone de 35,74 m doit être appliquée à partir du niveau plein bord récent, dans le sens du déplacement du cours d'eau, pour le secteur où le taux de mobilité a été calculé.

4. Calcul de la marge latérale de sécurité pour la ZM long terme

Dans le cas d'un corridor d'amplitude des méandres défini à partir de trois images, mais dont la délimitation finale repose sur l'orthophotographie de 2023 ($REQM_h = 1,47 \text{ m}$), la marge latérale de sécurité est calculée à partir de la $REQM_h$ de cette image récente.

$$\text{Marge latérale de sécurité} = REQM_{h2023} = \mathbf{1,47 \text{ m}}$$

Cette marge est ensuite ajoutée intégralement de chaque côté du corridor. Par exemple, si le corridor d'amplitude a une largeur de 60 m, la zone de mobilité long terme finale devient :

$$\begin{aligned} \text{ZM long terme finale} &= \text{corridor d'amplitude des méandre} + 2 \times \text{marge latérale de sécurité} = 60 + 2 \times 1,47 \\ &= \mathbf{62,94 \text{ m}} \end{aligned}$$

**Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs**

Québec 