

## Rapport

*La restauration fluviale par les processus et basée sur l'hydrogéomorphologie : le cas du haut bassin-versant de la rivière Lorette.*

---



Laboratoire d'expertise et de  
recherche en géographie appliquée

---

2024

---

Laboratoire d'expertise et de recherche en géographie appliquée (LERGA), UQAC.

**Référence à citer :**

Vin Deslauriers Janie, Lauzier Marie-Joëlle et Boivin Maxime. 2024. *La restauration fluviale par les processus et basée sur l'hydrogéomorphologie : le cas du haut bassin-versant de la rivière Lorette. Rapport présenté à Canards Illimités Canada (CIC)*. Laboratoire d'expertise et de recherche en géographie appliquée. LERGA-UQAC. 53 pages + annexes.



UQAC



---

## Table des matières

<b>Table des figures et tableau</b> .....	v
L'hydrogéomorphologie .....	1
La restauration par les processus HGM.....	1
Mise en contexte .....	2
Des solutions par l'hydrogéomorphologie .....	3
Amélioration de la connectivité .....	3
Ajout de bois morts .....	5
Barrages de castor et barrages de castor analogues .....	7
Reconnexion de méandres et délinéarisation.....	10
Restauration d'un espace de liberté .....	13
Analyse hydrogéomorphologique du haut bassin versant de la rivière Lorette et suggestions de restauration par les processus HGM.....	15
Analyse de la trajectoire historique du bassin versant de la rivière Lorette .....	16
<b>La rivière Lorette</b> .....	16
<b>Les tributaires de la rivière Lorette</b> .....	20
Analyse de l'évolution historique et actuelle de l'indice de qualité morphologique (IQM) du haut bassin versant de la rivière Lorette .....	22
<b>Ruisseau Sans Nom</b> .....	24
<b>Ruisseau de la Souvenance</b> .....	24
<b>Ruisseau des Friches</b> .....	26
<b>Ruisseau Mont Châtel</b> .....	28
<b>Ruisseau Notre-Dame</b> .....	31
<b>Rivière Lorette</b> .....	32
Analyse des sites de restauration potentiels et propositions de projets.....	34
<b>Site #1 : Délinéarisation de la Rivière Lorette – Segment 63</b> .....	34
<b>Site #2 : Démantèlement de barrages dans le Ruisseau des Friches - Segments 52 et 83</b> .....	37
<b>Site #3: Remblais des fossés agricoles dans l'affluent du ruisseau Mont Châtel – Segment 48</b> .....	39
<b>Site #4 : Barrages de castor analogues dans le Ruisseau Mont Châtel - Segment 76</b> .....	42
<b>Site # 5 : Reconnexion de méandres et chenal à deux niveaux à la confluence du ruisseau de la Souvenance et de la rivière Lorette - Segments 51 et 62</b> .....	44
Conclusion .....	46
<b>Références</b> .....	49
<b>ANNEXES</b> .....	54

---

ANNEXE 1.....	55
ANNEXE 2.....	56
ANNEXE 3.....	57
ANNEXE 4.....	58
ANNEXE 5.....	59
ANNEXE 6.....	60
ANNEXE 7.....	61
ANNEXE 8.....	62
ANNEXE 9.....	63
ANNEXE 9 (Suite) .....	64

---

## Table des figures et tableau

Figure 1 : Illustration d'une chute infranchissable à la sortie d'un ponceau à gauche comparé à un ponceau franchissable à droite (Pêche et Océan Canada 2023). .....	3
Figure 2 : Ponceau artisanal en milieu agricole où la connectivité hydrosédimentaire est altérée et qui ne permet pas le libre passage du poisson (source et crédit photo: Marchand et Marquis 2023). .....	3
Figure 3 : Restauration du libre passage du poisson à la sortie d'un ponceau qui présentait une chute infranchissable avant les travaux (A) et après la restauration où l'on voit les bassins aménagés à la sortie du ponceau avec vue vers l'amont (B) et vers l'aval (C) (ROBVQ, 2015).....	4
Figure 4 : Barrage en aval du ruisseau de la Souvenance, bassin versant de la rivière Lorette. Source : Orthomosaïque 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. ....	4
Figure 5 : A- Embâcle de bois aménagé afin d'améliorer la connectivité d'un cours d'eau dégradé du Maryland avec sa plaine inondable (Nelson 2019). B- Aménagement d'embâcle dans un contexte où la forêt est à un stade trop précoce pour assurer un recrutement naturel dans un cours d'eau dégradé de l'état de Washington, pour améliorer l'habitat des salmonidés (Jamestown S'Klallam Tribe 2024). C- Aménagement d'une structure composée de grands troncs d'arbres positionné parallèlement à un cours d'eau en Suisse afin de stabiliser la berge (Neuhaus et Mende 2021). D- Restauration complète d'un cours d'eau dégradé avec une combinaison d'actions, dont l'aménagement de bois mort sous forme d'embâcles latéraux et de végétalisation de la plaine inondable aux États-Unis (Nooksack Salmon Enhancement Association (NSEA)).....	6
Figure 6 : Schéma de restauration d'un cours d'eau par l'intégration de l'approche par manipulation de l'habitat incitant les castors à recoloniser des paysages fluviaux. Dans cet exemple, des barrages de type castor (Beaver Dam Analogues) ont été construits et ont favorisé le ralentissement de l'écoulement, permettant aux castors de réintégrer l'environnement. Source : traduit de Goldfarb, 2018.....	8
Figure 7 : A et B - Exemples de barrages de type castor (Beaver Dam Analogues) en Oregon et en Californie. C- Exemple d'une séquence de barrages de type castor (BDAs) dans le ruisseau Bridge Creek en Oregon. Source : traduit de Pollock et Castro, 2023.....	9
Figure 8 : Exemple de cours d'eau linéarisé en milieu agricole. Rivière Cap-Rouge, Québec. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. ....	10
Figure 9 : Restauration de la rivière Kissimmee en Floride montrant le site avant et après la restauration (NorthStar 2010). Ce projet est de grande envergure et permet la reconnexion avec la plaine inondable de même que la réhabilitation de la diversité biologique et des fonctions écosystémiques historiques. ....	11

Figure 10 : Illustration du projet «Un méandre à la fois» montrant les mesures prises afin de restaurer un tronçon de cours d'eau en milieu agricole et de laisser un espace de liberté dans la plaine alluviale naturelle. A) Photo aérienne prise en 2016 montrant le retrait des cultures de la plaine alluviale historique de trois parcelles depuis trois années différentes : 2018, 2021 et 2022. B) Photo aérienne montrant le secteur de retrait des cultures en 2022. C) Vue aérienne par drone du site de restauration (juillet 2022) (crédit photo : MRC Pierre de Saurel) (Marchand et Marquis 2023). ..... 12

Figure 11 : Cette figure montre deux niveaux de mobilité, le  $M_{50}$  et le  $M_{\text{plaine}}$  issu de l'article publié de Biron et al. (2014)..... 13

Figure 12 : Évolution historique du tracé de la rivière Lorette montrant une rectification du chenal pour faciliter le développement urbain, et comparaison des tracés sur imagerie LiDAR. Source : Orthomosaïques de 1965, 1973 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie..... 17

Figure 13 : Évolution historique de tracé du lit mineur de la rivière Lorette depuis 1965 jusqu'à 2019, montrant la migration d'un méandre ainsi qu'un recouplement de méandre entre 2003 et 2019. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. .... 17

Figure 14 : Exemple de berges stabilisées non visibles par imagerie aérienne dont la date de construction est inconnue, rivière Lorette (auteur photo : Agiro). ..... 18

Figure 15 : Image aérienne datant de 2019 illustrant la comparaison du tracé de la rivière Lorette avec son ancien tracé en 1948, avant sa rectification. On observe que les anciens méandres ont été remblayés pour le développement de propriétés privées. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. .... 19

Figure 16 : Évolution historique de la rivière Lorette montrant sa trajectoire avant sa linéarisation (1948), après sa linéarisation (1965) et demeuré linéaire jusqu'en 2019, puis comparaison de son ancien tracé par rapport à aujourd'hui sur imagerie LiDAR. Source : Orthomosaïques de 1948, 1965 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. .... 20

Figure 17 : A) Imagerie LiDAR montrant la plaine alluviale avec d'anciens chenaux sur un tronçon du ruisseau Mont Châtel ; B) imagerie LiDAR illustrant la rectification du ruisseau Mont-Châtel par rapport à son ancien tracé en 1948 ; C) image aérienne présentant un tronçon du ruisseau Mont Châtel déplacé pour le passage de la route. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. .... 21

Figure 18 : Linéarisation d'un secteur à méandres du Ruisseau Sans Nom entre 1948 et 1965 en raison du développement de l'agriculture. La couleur des tronçons IQM est associée à la valeur suivante : Orange = Faible. Source : Orthomosaïques 1948 et 1965. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. .... 24

Figure 19 : Évolution historique de l’IQM du segment 51 (aval) et du segment 77 (amont). Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Jaune = Moyen, Vert = Bon. Source : Orthomosaïques 1948, 1965, 1985 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie..... 25

Figure 20 : Vu d’ensemble du tronçon 77 entre 1948 (jaune) et 2019 (vert). Il est possible d’y observer l’ajout d’un bassin artificiel ainsi que certains secteurs linéarisés en amont. Il est également possible de noter le retour de la végétation sur une bonne partie du tronçon, ce qui explique en partie l’amélioration de son IQM dans le temps. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Orange = Faible, Jaune = Moyen, Vert = Bon, Bleu = Très bon. Source : Orthomosaïques 1948 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. . 25

Figure 21 : Évolution du paysage hydrique de l’amont de l’affluent du ruisseau de la Souvenance. Il est possible d’observer en 2019 de multiples bassins artificiels et structures de rétention des eaux en amont du tronçon 82. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Jaune = Moyen, Vert = Bon, Bleu = Très bon. Sources : Orthomosaïques 1948 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie et Hydrographie structure (linéaires). 2021. Jeu de données vectorielles. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. .... 26

Figure 22 : Évolution de l’IQM et représentation de l’évolution du démantèlement de barrages sur les tronçons 52 et 83 du ruisseau des Friches. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Rouge = Très faible, Orange = Faible, Jaune = Moyen, Vert = Bon. Les photos sont issues de la visite terrain effectuée en juin 2024. Source : Orthomosaïques 1973 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie..... 27

Figure 23 : Évolution historique de l’IQM du segment 73. L’ancien tracé fluvial de 1948 est illustré en ligne pointillée bleue. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Rouge = Très faible, Orange = Faible, Jaune = Moyen, Vert = Bon. Source : Orthomosaïques 1948, 1985 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. .... 28

Figure 24 : Évolution de l’IQM et du barrage à l’amont du tronçon 72 dans le ruisseau Mont Châtel. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Jaune = Moyen, Bleu = Très bon. Source : Orthomosaïques 1948 et 1985. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. .... 29

Figure 25 : Évolution de l’IQM depuis 1948 du segment 68 et 69. Il est possible de noter la linéarisation du segment 69 entre 1948 et 1985 de même que la repousse de la végétation sur les anciennes terres agricoles. L’ancien tracé fluvial de 1948 est illustré en ligne pointillée bleue. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Orange = Faible, Jaune = Moyen, Vert = Bon, Bleu = Très bon. Source : Orthomosaïques 1948, 1985 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie..... 30

Figure 26 : Évolution du segment 76 en amont du ruisseau Mont Châtel. Il est possible d’observer la linéarisation du cours d’eau entre 1948 et 1985 avant que la végétation s’y réinstalle. L’ancien tracé fluvial de 1948 est illustré en ligne pointillée bleue. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Orange = Faible, Jaune = Moyen, Vert = Bon. Source : Orthomosaïques 1948, 1985 et 2019. Ville de Québec. Service de l’ingénierie. Division de l’arpentage et de la cartographie. ....	31
Figure 27 : Évolution du tronçon 66 en amont du ruisseau Notre-Dame. Il est possible d’observer sa linéarisation et le déplacement de ton tracé fluvial entre 1948 et 2019. L’ancien tracé fluvial de 1948 est illustré en ligne pointillée bleue. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Orange = Faible, Vert = Bon. Source : Orthomosaïques 1948, 1985 et 2019. Ville de Québec. Service de l’ingénierie. Division de l’arpentage et de la cartographie.....	32
Figure 28 : Évolution d’une section du segment 63 en amont de la rivière Lorette. Il est possible d’observer la linéarisation du segment entre 1948 et 1985 où le cours d’eau a été complètement rectifié. L’absence de bande riveraine végétalisée perdure dans le temps. L’ancien tracé fluvial de 1948 est illustré en ligne pointillée bleue. La couleur des tronçons IQM est associée à la valeur suivante : Orange = Faible. Source : Orthomosaïques 1948, 1985 et 2019. Ville de Québec. Service de l’ingénierie. Division de l’arpentage et de la cartographie. ....	33
Figure 29 : Localisation du site #1 (segment 63), un secteur linéarisé de la rivière Lorette. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l’ingénierie. Division de l’arpentage et de la cartographie. ....	35
Figure 30 : Espace de liberté approximatif pour le site de restauration #1 (segment 63) en fonction de l’amplitude des méandres observé sur les orthophotographies de 1948 ainsi qu’en fonction de l’emplacement actuel du cours d’eau. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l’ingénierie. Division de l’arpentage et de la cartographie. ....	36
Figure 31 : Localisation du site#2 (segment 52 et 83) du ruisseau des Fiches. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l’ingénierie. Division de l’arpentage et de la cartographie. ....	37
Figure 32 : Profil en long avec bris de pentes du ruisseau des Fiches. La pente moyenne à l’aval du barrage désuet 1 est de $0.02\text{m m}^{-1}$ , alors que la pente moyenne à l’amont de ce barrage et avant la seconde rupture de pente est de $0.006\text{m m}^{-1}$ . ....	38
Figure 33 : Profil en long avec bris de pentes du ruisseau Mont Châtel. La pente moyenne à l’aval du barrage partiellement démantelé est de $0.02\text{m m}^{-1}$ , alors que la pente moyenne à l’amont du barrage et avant le second bris de pente est de $0.005\text{m m}^{-1}$ .....	39
Figure 34 : Localisation du site #3 (segment 48) dans l’affluent du ruisseau Mont Châtel, un secteur linéarisé avec de multiples fossés agricoles. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l’ingénierie. Division de l’arpentage et de la cartographie. ....	40
Figure 35 : A) végétation arbustive et arborescente bordant l’affluent du ruisseau Mont Châtel ; B) affluent du ruisseau Mont Châtel dans une friche arbustive ; C) aperçu de l’affluent du ruisseau Mont	

---

Châtel montrant la présence de roches et de bois créant la géodiversité ; D) affluent du ruisseau Mont Châtel autrefois linéarisé et retrouvant sa sinuosité. ....	40
Figure 36 : Modèle numérique d'élévation issus des données LiDAR permettant de voir les multiples fossés agricoles dirigés vers le ruisseau Mont Châtel. Source : MRNF, 2016 et Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. ....	41
Figure 37 : Localisation du site #4, un secteur linéarisé situé dans le parc Montchâtel et dont le segment retrouve tranquillement ses processus HGM. ....	42
Figure 38 : Photographies issues de la campagne de terrain de juin 2024 illustrant la présence de bois mort en amont du tronçon 76 du ruisseau Mont Châtel. Il est possible de noter que le cours d'eau reprend tranquillement ses processus naturels. ....	43
Figure 39 : Photographies issues de la campagne de terrain de juin 2024 représentant un secteur à l'aval du segment 76 où il est possible de noter l'incision du chenal à cet endroit. Les zones humides sont situées directement à l'est du secteur incisé (ANNEXE 7). Par ailleurs, un tuyau désuet se trouve sur le lit du cours d'eau. ....	43
Figure 40 : Localisation du site#5 (segment #51 et #62) à la confluence du ruisseau de la Souvenance et de la rivière Lorette. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie. ....	45
Figure 41 : Coupe transversale d'un chenal à deux niveaux. Les débits sont généralement accélérés en période d'étiage lorsque l'eau circule au premier niveau. En période de crue, les débits ralentissent lorsque l'eau atteint le second niveau grâce à l'élargissement de la plaine alluviale. Source : traduite de Västilä et al. (2021).....	46
Tableau 1 : Évolution historique de l'IQM des segments des cours d'eau du haut bassin versant de la rivière Lorette pour les années 1948, 1985 et 2019. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Rouge = Très faible, Orange = Faible, Jaune = Moyen, Vert = Bon, Bleu = Très bon. Les tendances historiques sont illustrées comme suit : → = stable, ↘ = à la baisse, ↗ = à la hausse. ...	23

# L'hydrogéomorphologie

Une science au service de la restauration des cours d'eau.

**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 »**

(Newson *et al.* 1998)

## La restauration par les processus HGM

La restauration des cours d'eau par les processus hydrogéomorphologiques (HGM) se concentre sur le retour vers un état plus naturel, préalablement perturbé par des aménagements anthropiques, afin de rétablir les fonctionnements physiques, chimiques et biologiques qui créent et maintiennent les écosystèmes fluviaux (Beechie *et al.* 2010). L'érosion des berges, le transport sédimentaire, l'apport de bois mort et les débordements dans la plaine alluviale lors de crues font partie des processus HGM essentiels aux écosystèmes fluviaux et riverains. Ils peuvent également contribuer à diminuer les risques pour la sécurité civile (Florsheim *et al.* 2008). Les différentes approches de restauration par les processus HGM apparaissent aujourd'hui comme les mieux adaptées et les plus durables, tant sur un plan physique que biologique (Wohl *et al.* 2005; Beechie *et al.* 2010; Johnson *et al.* 2020).

*« Il est nécessaire de promouvoir une gestion durable des rivières et des solutions fondées sur la nature, fondées sur une compréhension basée sur les processus. »*

*(Traduction de Piégay *et al.* 2023)*

La restauration par les processus HGM des cours d'eau et l'amélioration de la connectivité avec la plaine inondable sont des approches de plus en plus utilisées à travers le monde (Beechie *et al.* 2010; Wohl *et al.* 2015). Elles sont utilisées dans de nombreux pays tels que la France, les États-Unis, la Nouvelle-Zélande et l'Italie depuis quelques dizaines d'années. Plusieurs techniques ont été développées selon le type de cours d'eau et le milieu à restaurer. À titre d'exemples, Cluer et Thorne (2014) proposent la méthode « stage 0 », basée sur les processus à l'échelle de la vallée, qui consiste à recréer un système anabranché avec l'ajout de bois et de sédiments et favorisera la reconnexion avec la plaine alluviale et la nappe phréatique. Cette méthode nécessite de rehausser le lit du chenal pour la mise en place du système qui s'ajustera ensuite par lui-même en se créant une structure complexe de chenaux et de zones humides (Schneider 2020; Hinshaw *et al.* 2022). Wheaton *et al.* (2019) proposent l'approche « low-tech restoration » inspirée par la méthode de Cluer et Thorne (2014), mais s'applique à différents types de milieux par la mise en place de principes de bases pour restaurer un système fluvial en déficit sédimentaire. Ils recommandent des méthodes opposées aux techniques d'ingénierie en priorisant les processus hydrogéomorphologiques par des ajouts structurels simples et naturels, par exemple en imitant un embâcle de bois ou un barrage de castor analogue. Ces méthodes ont en commun de laisser le système fluvial travailler par lui-même.

---

Ainsi, les techniques basées sur les processus utilisées aujourd'hui s'inscrivent dans une philosophie qui incite à laisser les processus hydrogéomorphologiques travailler naturellement plutôt que de tenter de les contrôler. Beechie et al. (2010) définissent la restauration basée sur les processus comme ayant pour objectifs de rétablir les taux et l'étendue normative des processus physiques, chimiques et biologiques qui façonnent les écosystèmes des rivières et des plaines inondables.

## **Mise en contexte**

Ce rapport vise à analyser et proposer quelques scénarios d'aménagements pour la restauration par les processus hydrogéomorphologiques (HGM) des cours d'eau du haut bassin versant de la rivière Lorette tel que mandaté par Canards illimités Canada. Il se concentre sur des méthodes applicables aux types d'environnements fluviaux présents sur ce territoire ainsi que sur des propositions d'aménagements pour quelques sites sélectionnés à titre d'exemple. La majeure partie de ce bassin versant, située en milieux urbains et agricoles, a vu ses cours d'eau anthropisés par de multiples interventions humaines à travers le temps. Au fil des années, de longs tronçons de rivières et de ruisseaux ont été canalisés et enfouis, linéarisés, harnachés par des digues ou des barrages, enrochés, détournés de leur trajectoire et déconnectés par la présence de multiples ponceaux. Le potentiel de restauration est donc considérable et doit être envisagé en synergie avec le milieu. Bien qu'un retour à l'état initial, c'est-à-dire avant que l'humain intervienne sur le territoire, ne soit pas à considérer, plusieurs techniques de restauration par les processus HGM peuvent s'appliquer selon les différentes variables présentes dans l'environnement. La restauration des processus HGM permettra d'assurer une meilleure cohabitation entre l'humain et la nature.

Ce rapport se divise en deux sections distinctes. Dans la première section, différentes méthodes de restaurations existantes et adaptées au contexte environnemental du haut bassin versant de la rivière Lorette sont présentées. Parmi ces méthodes, l'amélioration de la connectivité fluviale, l'ajout de bois mort, les barrages de castor et la construction de barrages analogues, la reconnexion de méandres et la délinéarisation des cours d'eau ainsi que la création d'un espace de liberté sont abordées. Une énumération non-exhaustive d'une partie de la littérature scientifique existante de même que des liens vers quelques études de cas et différents projets au Québec et à travers le monde termineront chaque section.

La seconde section présentera d'abord une étude des cours d'eau du bassin versant de la rivière Lorette par l'analyse de la trajectoire historique, ainsi que par l'analyse de l'IQM actuelle et historique. Elle présentera ensuite quelques propositions de projets où les différentes méthodes présentées dans la section précédente pourraient s'appliquer. La sélection des sites a été effectuée en fonction de leur caractère représentatif pouvant s'appliquer à d'autres sites aux caractéristiques similaires. De plus, d'autres sites ont également été sélectionnés en fonction de l'emplacement de terrains offrant des opportunités d'aménagements intéressantes tant sur le plan hydrogéomorphologique que dans un objectif de diminution de la réponse hydrologique.

## Des solutions par l'hydrogéomorphologie

### Amélioration de la connectivité

Certains obstacles dans les cours d'eau peuvent altérer la connectivité hydrosédimentaire de même que le libre passage du poisson (Wohl 2017). Par exemple, un ponceau mal positionné ou détérioré (Figure 1) peut obstruer le libre passage du poisson et fractionne ainsi son habitat. Cela a pour conséquence, entre autres, de diminuer la capacité de production des écosystèmes fluviaux.

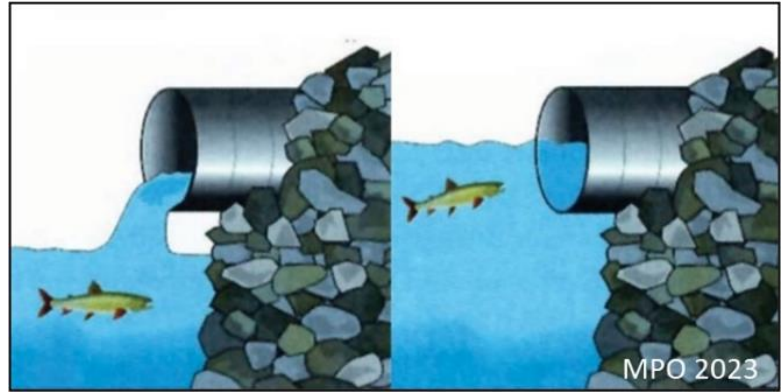


Figure 1 : Illustration d'une chute infranchissable à la sortie d'un ponceau à gauche comparé à un ponceau franchissable à droite (Pêche et Océan Canada 2023).

Les traverses de cours d'eau en milieu agricole (Figure 2) et en milieu forestier sont souvent artisanales et vieillissantes (Lehrter *et al.* 2024). Les ponceaux dominent notamment dans ces paysages et sont souvent désuets, altérant ainsi la connectivité du cours d'eau dans le bassin versant. L'amélioration de la connectivité dans un bassin versant se présente comme un objectif de restauration hydrogéomorphologique pertinent autant d'un point de vue faunique qu'anthropique (Gilvear *et al.* 2013; Auerbach *et al.* 2014). Il existe plusieurs types de traverses pouvant répondre aux objectifs de connectivité de différents types de cours d'eau et leur environnement tels que les passages à gué, les ponts et les ponceaux.



Figure 2 : Ponceau artisanal en milieu agricole où la connectivité hydrosédimentaire est altérée et qui ne permet pas le libre passage du poisson (source et crédit photo: Marchand et Marquis 2023).

Plusieurs critères sont à évaluer pour le choix d'un ponceau adapté à son environnement, tels que la capacité hydraulique et l'espace nécessaire pour le transport sédimentaire et la matière ligneuse. Certains ponceaux sont également conçus de manière à favoriser le passage de différentes espèces de poissons (Pirolley et Bergeron 2020) ou d'amphibiens (Gunson 2019). De plus, il faut aussi prévoir certaines mesures environnementales, comme assurer la libre circulation des eaux et l'installation de barrières à sédiments lors des travaux, planifier le reboisement des berges, etc. Le positionnement du ponceau doit également être analysé selon certains critères, tels que la pente et l'angle par rapport au cours d'eau (Cafferata et Bundros 2004). Des aménagements sont possibles afin de restaurer le libre passage du poisson lorsque le ponceau ne peut être changé (Figure 3) (ROBVQ, 2015).



Figure 3 : Restauration du libre passage du poisson à la sortie d'un ponceau qui présentait une chute infranchissable avant les travaux (A) et après la restauration où l'on voit les bassins aménagés à la sortie du ponceau avec vue vers l'amont (B) et vers l'aval (C) (ROBVQ, 2015).

Les risques d'augmentation et de la récurrence des phénomènes extrêmes liés aux changements climatiques sont également à considérer dans le choix du ponceau (Wilhere *et al.* 2017). Plusieurs événements climatiques survenus au Québec récemment montrent que l'amélioration et l'adaptation des infrastructures dans les cours d'eau en vue de ces phénomènes peuvent contribuer à prévenir les risques et dommages liés, notamment, aux inondations (Mayer-Jouanjan et Bleau 2018; Comité expert interministériel en soutien au rétablissement et à la prise de décision en aménagement du territoire (COMEXI-RDG) 2023). L'anticipation de ces phénomènes dans le choix de la dimension du ponceau peut donc améliorer leur durabilité et leur résilience.

Les ponts et les passages à gué permettent, quant à eux, de préserver les fonctions écosystémiques du cours d'eau en ayant un impact généralement moindre ou non significatif sur les processus HGM. Cependant, d'autres ouvrages tels que les digues, les enrochements ou les barrages peuvent altérer la connectivité à l'intérieur des bassins versants, comme on peut le voir sur la Figure 4. Leur retrait se présente comme une option pertinente s'ils ne sont plus utilisés ou désuets.



Figure 4 : Barrage en aval du ruisseau de la Souvenance, bassin versant de la rivière Lorette. Source : Orthomosaique 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

---

## Littérature

- Pratiques exemplaires de gestion pour la protection de l'habitat des poissons d'eau douce à Terre-Nerve-et-Labrador (Pêche et Océan Canada 2023)
- Lignes directrices pour les traversées de cours d'eau au Québec (Pêche et Océan Canada 2016)
- Comparaison du passage de tortues et de serpents dans des ponceaux de drainage le long de deux autoroutes en Amérique du Nord (Gunson 2019)
- Franchissement piscicole dans les ponceaux : ouvrages à simulation de cours d'eau et conception ichtyocompatible (Pirolley et Bergeron 2020)
- Stream simulation for aquatic organism passage at road-stream crossing (Cenderelli *et al.* 2011)
- Designing watercourse crossing for passage of 100-year flood flows, wood, and sediment (Californie) (Cafferata et Bundros 2004)
- Reconciling agriculture and stream restoration in Europe: A review relating to the EU Water Framework (Flávio *et al.* 2017)
- Projet de restauration de cours d'eau en milieu agricole : Un méandre à la fois (Marchand et Marquis 2023) [https://agrcq.ca/wp-content/uploads/2023/04/AGRCQ\\_Colloque2023\\_Marchand\\_UQAC\\_Marquis\\_Avizo.R.2023.04.12.pdf](https://agrcq.ca/wp-content/uploads/2023/04/AGRCQ_Colloque2023_Marchand_UQAC_Marquis_Avizo.R.2023.04.12.pdf)

## Ajout de bois morts

Le bois mort influence la structure de l'écoulement dans un cours d'eau et aide à diversifier la dynamique sédimentaire, soit en maintenant les processus d'érosions et/ou en contribuant à l'accumulation de sédiments. La présence de bois mort est naturelle et bénéfique à l'écologie du cours d'eau. Elle contribue à créer différents habitats pour la faune aquatique et riparienne, notamment pour les différents stades de vie du poisson (Roni et Quinn 2001; Kail *et al.* 2007; Nagayama et Nakamura 2010).

La réintroduction de bois mort fait partie des stratégies de restauration active des cours d'eau. À titre d'exemples, une première technique de restauration par le bois mort est celle d'aménagement d'embâcles. Elle est utilisée notamment afin d'orienter l'écoulement pour la reconnexion de méandres tout en améliorant la complexité de l'habitat favorisant ainsi la diversité des espèces (Kail *et al.* 2007). Elle est aussi utilisée afin d'améliorer la connectivité d'un cours d'eau avec sa plaine inondable lorsque celui-ci est incisé (Figure 5-A). Une seconde technique est l'insertion de souches ou de troncs dans le but de rediriger l'écoulement afin d'activer la création de nouvelles formes dans le chenal et favoriser la géodiversité (Figure 5-B). L'insertion de souches ou de troncs peut également être utilisée afin de stabiliser les berges (Figure 5-C et D), tout en maintenant un niveau de naturalité plus élevé que, par exemple, un enrochement classique (Neuhaus et Mende 2021). En plus d'inhiber l'érosion, elle conserve la rugosité de la berge tout en préservant un aspect naturel dans le cours d'eau. Il faut cependant considérer que l'érosion des berges est un processus naturel et nécessaire à l'équilibre naturel du cours d'eau et aux écosystèmes (Florsheim *et al.* 2008). Dans un contexte de restauration, leur stabilisation peut être considérée, par exemple, lorsque la végétation arbustive ou arborescente est absente ou manque de maturité (Figure 5-D). L'ajout de bois mort est une technique de restauration efficace, mais

temporaire. Elle doit alors être jumelée à la restauration de la plaine inondable et de la bande riveraine par une revégétalisation afin de rétablir un recrutement naturel à long terme (Nagayama et Nakamura 2010).

Ces techniques de restauration des cours d'eau sont utilisées depuis de nombreuses années dans différents pays et les résultats sont généralement positifs (Kail *et al.* 2007; Nagayama et Nakamura 2010). On observe comme principaux bénéfiques une amélioration de la qualité et de la diversité des habitats, de même qu'une restauration des processus hydrogéomorphologiques. Quelques exemples sont cités plus bas.



Figure 5 : A- Embâcle de bois aménagé afin d'améliorer la connectivité d'un cours d'eau dégradé du Maryland avec sa plaine inondable (Nelson 2019). B- Aménagement d'embâcle dans un contexte où la forêt est à un stade trop précoce pour assurer un recrutement naturel dans un cours d'eau dégradé de l'état de Washington, pour améliorer l'habitat des salmonidés (Jamestown S'Klallam Tribe 2024). C- Aménagement d'une structure composée de grands troncs d'arbres positionné parallèlement à un cours d'eau en Suisse afin de stabiliser la berge (Neuhaus et Mende 2021). D- Restauration complète d'un cours d'eau dégradé avec une combinaison d'actions, dont l'aménagement de bois mort sous forme d'embâcles latéraux et de végétalisation de la plaine inondable aux États-Unis (Nooksack Salmon Enhancement Association (NSEA)).

Littérature présentant plusieurs projets et leurs résultats à travers le monde :

- Centre de l'Europe: The use of large wood in stream restoration: experiences from 50 projects in Germany and Austria (Kail *et al.* 2007).
- Japon : Fish habitat rehabilitation using wood in the world (Nagayama et Nakamura 2010).
- Australie : Rehabilitating agricultural streams in Australia with wood: a review (Lester et Boulton 2008).

- 
- Différentes techniques et exemples aux États-Unis et ailleurs sont illustrés à travers la première édition de 2019 de la revue *Leaf Litter* : Wood as a tool in stream and river restoration (Nelson 2019).
  - Oregon, États-Unis : Density and size of juvenile salmonids in response to placement of large woody debris in western Oregon and Washington streams (Roni et Quinn 2001).
  - Suisse : Engineered large wood structures in stream restoration projects in Switzerland: Practice-based experiences (Neuhaus et Mende 2021).

## **Barrages de castor et barrages de castor analogues**

Tout comme l'ajout de bois mort, la réinsertion du castor (*Castor canadensis*) peut être une méthode de restauration basée sur les processus hydrogéomorphologiques dans les rivières. Skidmore et Wheaton (2022) expliquent qu'aujourd'hui, beaucoup de paysages fluviaux manquent de bois morts et de barrages de castor. Des cours d'eau qui, auparavant, comprenaient plusieurs chenaux et des enchainements de zones humides en raison de la présence du castor sont aujourd'hui privés de structures naturelles et sont davantage rectilignes. Cela engendre certaines problématiques comme un manque de connectivité avec la plaine inondable, des habitats plus simples et homogènes ainsi qu'une augmentation générale des débits et de la réponse hydrologique des bassins versants.

En revanche, un paysage fluvial qui contient une bonne quantité de structures naturelles est généralement plus résilient face aux aléas climatiques et offre davantage de services écosystémiques (Wheaton *et al.* 2019). Ainsi, les barrages de castors sont non seulement une solution efficace pour restaurer des cours d'eau, mais ils sont également considérés comme une méthode de restauration à l'échelle du bassin versant. La présence de barrages de castor permet de diversifier la dynamique fluviale, sédimentaire et géomorphologique. Ils influencent la complexité des écosystèmes en altérant notamment les schémas d'érosion et d'accumulation de sédiments. Ils ralentissent la réponse hydrologique, préviennent les sécheresses, peuvent stabiliser les rives, favoriser les dépôts sédimentaires ou créer des chenaux secondaires et des zones humides. Les barrages de castor favorisent donc la connectivité avec la plaine inondable et la diversification des habitats pour la faune et la flore (Wheaton *et al.* 2019).

Il est possible d'encourager la création de barrages de castor pour favoriser la diversité des paysages fluviaux. Il existe trois approches générales pour la restauration des cours d'eau par le castor présentées par Pollock et Castro (2023). La première approche est davantage passive et fait référence à la restriction des permis de piégeage pour assurer la pérennité des castors à l'intérieur de ces écosystèmes fluviaux. La seconde approche consiste à activement changer et manipuler l'habitat afin d'attirer les castors dans les zones à restaurer. La troisième approche, quant à elle, consiste à relocaliser directement les castors vers les zones à restaurer dans le but qu'ils s'y établissent. Souvent, ces trois approches sont utilisées simultanément.

Autrement, une alternative à la réinsertion du castor dans les écosystèmes fluviaux davantage applicable en milieux urbains et semi-urbains comme la Lorette est la construction de barrages de castor

analogues (Beaver Dam Analogues (BDAs)). Il s'agit d'une autre méthode qui s'inscrit dans l'approche par manipulation de l'habitat et qui imite les barrages de castors naturels (Figure 6 et Figure 7). L'idée est de reproduire la porosité d'un barrage de castor à l'aide de matériaux naturels qui pourront rester en place quelques années, le temps de modifier le paysage fluvial (Pollock et Castro 2023).

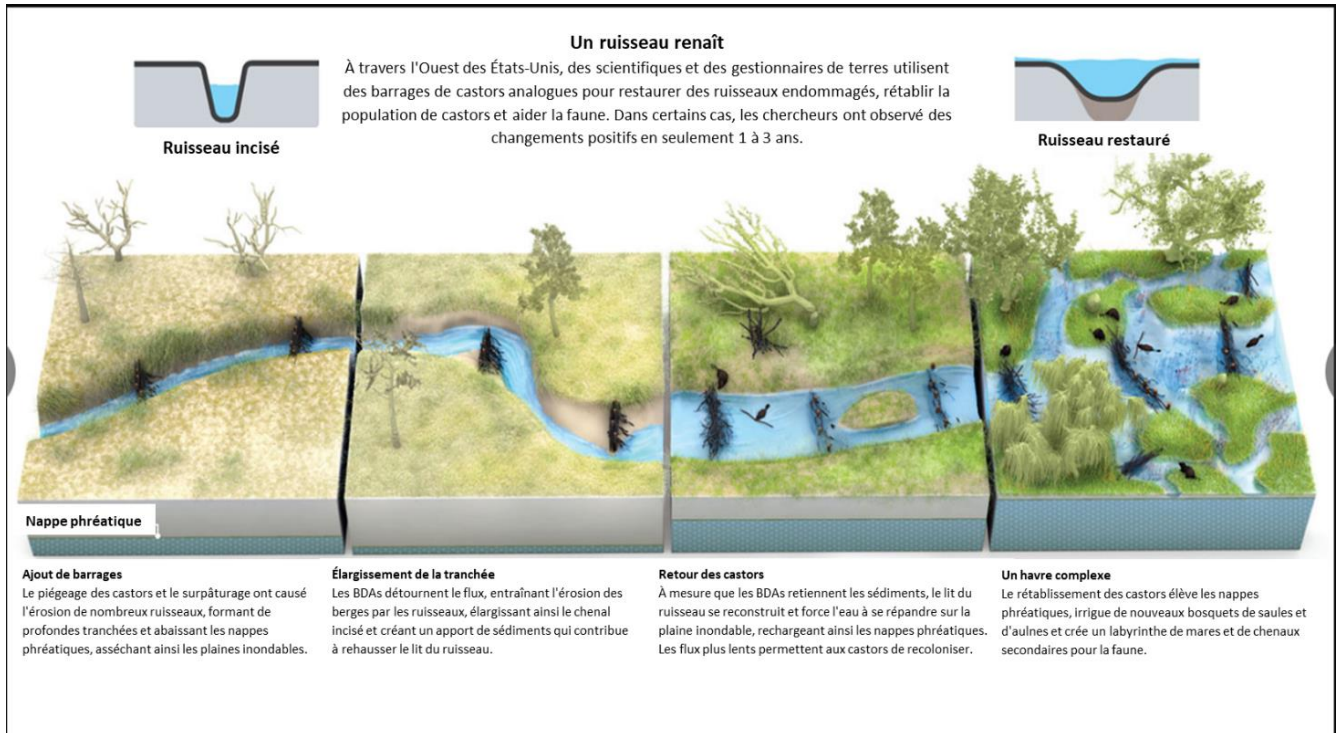


Figure 6 : Schéma de restauration d'un cours d'eau par l'intégration de l'approche par manipulation de l'habitat incitant les castors à recoloniser des paysages fluviaux. Dans cet exemple, des barrages de type castor (Beaver Dam Analogues) ont été construits et ont favorisé le ralentissement de l'écoulement, permettant aux castors de réintégrer l'environnement. Source : traduit de Goldfarb, 2018.

Les barrages de castor analogues sont donc des structures naturelles, temporaires et semi-poreuses qui sont de plus en plus utilisées comme solution de restauration « low-tech ». De plus, cette méthode de restauration est réputée pour engendrer des coûts modiques (Scamardo et Wohl 2020). L'efficacité de ces barrages a été reconnue pour favoriser les processus d'aggradation et limiter l'incision des cours d'eau, ce qui en fait une méthode bien adaptée aux cours d'eau à faible pente et à faible débit (Scamardo et Wohl 2020). En effet, l'aggradation engendrée par ce type de structure rehausse le niveau moyen du lit des cours d'eau, favorisant les débordements et la reconnexion avec la plaine alluviale ou les milieux humides environnants (Figure 6).



Figure 7 : A et B - Exemples de barrages de type castor (Beaver Dam Analogues) en Oregon et en Californie. C- Exemple d'une séquence de barrages de type castor (BDAs) dans le ruisseau Bridge Creek en Oregon. Source : traduit de Pollock et Castro, 2023.

#### Littérature scientifique :

- États-Unis, Oregon : étude de l'impact des barrages de castor analogues sur les sédiments, les eaux souterraines et la végétation ligneuse riveraine d'un ruisseau à faible pente en déficit de végétation ligneuse riveraine (Orr *et al.* 2020).
- États-Unis, Oregon, Bridge Creek : étude de l'aggradation en amont des barrages de castor, de leurs impacts sur la restauration des cours d'eau incisés et l'expansion de l'habitat riparien (Pollock *et al.* 2007).
- États-Unis, Colorado, Moraine Park et Beaver Meadows : étude de l'impact des barrages de castor dans les plaines alluviales post-glaciations à faibles pentes (Polvi et Wohl 2012).
- États-Unis, Colorado Front Range, Fish et Canyon Creek : étude de l'utilisation de barrages analogues et leurs impacts sur le transport sédimentaire et les eaux souterraines (Scamardo et Wohl 2020).
- États-Unis, Wyoming, Red Canyon Creek : étude de l'utilisation de barrages analogues pour restaurer les cours d'eau et leurs impacts sur les échanges entre les eaux souterraines et de surface et la biogéochimie du lit de la rivière (Wade *et al.* 2020) .

#### Études de cas et guide pratique :

- Mémoire de maîtrise, proposition de projet et étude sur l'impact des barrages de castor analogues au sud des Rocheuses canadiennes (Bartush *et al.* 2020), URL : <https://mountainscholar.org/items/baeeebd6-afac-4d07-a189-a6590bdc6e32>

- Guide pratique pour la restauration des ruisseaux, des milieux humides et des plaines alluviales à l'aide des barrages de castor (Pollock et Castro 2023) URL: <https://www.fws.gov/media/beaver-restoration-guidebook>
- Guides de restauration « Low-tech process-based restoration of riverscapes, design manual » (Wheaton *et al.* 2019). URL : <https://lowtechpbr.restoration.usu.edu/manual/>

## Reconnexion de méandres et délinéarisation

La reconnexion des méandres et la délinéarisation des cours d'eau se présentent comme des interventions pertinentes et efficaces dans la restauration de la dynamique fluviale naturelle et des écosystèmes. La délinéarisation des cours d'eau va de pair avec la reconnexion des méandres. Elle consiste à restaurer la sinuosité naturelle des rivières en recréant des méandres là où elles ont été artificiellement rectifiées. Les milieux humides sont souvent issus de la dynamique de recoupement de méandres, et ces méandres abandonnés sont généralement riches en biodiversité (Massey *et al.* 2017). De nombreux cours d'eau ont été linéarisés et leurs méandres remblayés afin de favoriser le développement urbain et agricole, contribuant à une réduction de la diversité dans les habitats aquatiques et dans les zones humides et riveraines (Nakamura *et al.* 2014) (Figure 8). La linéarisation d'un cours d'eau peut également accentuer l'érosion des berges et générer une érosion de son lit (incision). L'incision d'un chenal entraîne une déconnexion avec sa plaine alluviale et limite ainsi plusieurs services écosystémiques. La réponse hydrologique est également plus rapide dans un chenal linéaire, ce qui accentue le risque lié aux inondations à l'aval (Simon et Rinaldi 2006). En rétablissant la connexion entre les méandres et leur plaine d'inondation, on permet aux rivières de retrouver leur régime naturel, favorisant ainsi la diversité biologique et la résilience des écosystèmes.



Figure 8 : Exemple de cours d'eau linéarisé en milieu agricole. Rivière Cap-Rouge, Québec. Source : Orthomosaique de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

Différentes méthodes sont utilisées à travers le monde dépendamment du contexte environnemental. Une restauration de méandres peut également se faire à différentes échelles en fonction de l'espace disponible et des moyens financiers. À titre d'exemple, la restauration du méandre Boiteaux dans la rivière La Brèche, en France, s'est réalisée à partir d'un méandre qui était toujours visible dans la topographie du territoire, mais qui a été envahi par la végétation suite à la rectification du cours d'eau (Bassin versant de la Brèche 2021). Ce projet s'est réalisé à l'échelle d'un seul méandre et sa reconnexion s'est effectuée à l'aide de machineries et du remblai de la section rectifiée. En comparaison, le projet de restauration de la rivière Kissimmee couvrant au total environ 4800<sup>2</sup> kilomètres est d'une envergure plus importante (Figure 9). D'autres méthodes plus passives peuvent également être utilisées telles que la création d'un espace de liberté où les processus hydrogéomorphologiques viendront naturellement recréer une variété de formes et une sinuosité. Cette méthode peut être combinée avec d'autres interventions afin d'activer les processus, tels que l'ajout de bois mort ou de barrages de castor.



Figure 9 : Restauration de la rivière Kissimmee en Floride montrant le site avant et après la restauration (NorthStar 2010). Ce projet est de grande envergure et permet la reconnexion avec la plaine inondable de même que la réhabilitation de la diversité biologique et des fonctions écosystémiques historiques.

### **Voici deux projets de restauration en milieu agricole en cours au Québec :**

**Projet Un méandre à la fois :** Ce projet de recherche-action consiste à mettre en place un protocole de restauration sur un tronçon de 200 m d'un cours d'eau agricole linéarisé (Figure 10). Plusieurs méthodes de restauration passive et active seront implantées et suivies par les chercheurs et leurs partenaires. En partenariat avec les producteurs, le projet vise à retirer les cultures de l'espace de liberté et à améliorer la connectivité hydrosédimentaire par le changement de traverses agricoles (Marchand et Marquis 2023).



Figure 10 : Illustration du projet «Un méandre à la fois» montrant les mesures prises afin de restaurer un tronçon de cours d'eau en milieu agricole et de laisser un espace de liberté dans la plaine alluviale naturelle. A) Photo aérienne prise en 2016 montrant le retrait des cultures de la plaine alluviale historique de trois parcelles depuis trois années différentes : 2018, 2021 et 2022. B) Photo aérienne montrant le secteur de retrait des cultures en 2022. C) Vue aérienne par drone du site de restauration (juillet 2022) (crédit photo : MRC Pierre de Saurel) (Marchand et Marquis 2023).

**Projet Castor** : Ce projet en milieu agricole vise à améliorer la qualité de l'eau et de l'écosystème du ruisseau Castor, en Montérégie, par différentes approches. Une de ces approches est axée sur l'hydrogéomorphologie, soit par l'adoption d'un espace de liberté et de bandes riveraines combiné à des pratiques alternatives de drainage agricole. Un espace de liberté combiné avec la restauration de bandes riveraines peut se présenter comme un bon exemple de restauration passive, c'est-à-dire que la délinéarisation du cours d'eau et l'amélioration de la qualité de son écosystème s'effectueront graduellement par l'action des processus hydrogéomorphologiques (Dauphin 2022; Regroupement des organismes de bassins versants du Québec (ROBVQ) 2023).

Exemples de projets et littérature :

- Projet de restauration au Japon : The significance of meander restoration for the hydrogeomorphology and recovery of wetland organisms in the Kushiro River, a lowland river in Japan (Nakamura *et al.* 2014).
- Restauration du méandre Boiteaux, cours d'eau la Brèche, Haut-de-France (Bassin versant de la Brèche 2021) <https://www.smbvbreche.fr/projet/restauration-du-meandre-boiteaux>
- Identification of criteria to determine the restoration potential of riparian wetlands in highly degraded agricultural environments, Québec (Massey *et al.* 2019) <https://www.ouranos.ca/fr/projets-publications/restauration-milieus-humides>
- Projet de restauration de cours d'eau en milieu agricole, Québec : Un méandre à la fois (Marchand et Marquis 2023) [https://agrcq.ca/wp-content/uploads/2023/04/AGRCQ\\_Colloque2023\\_Marchand\\_UQAC\\_Marquis\\_Avizo.R.2023.04.12.pdf](https://agrcq.ca/wp-content/uploads/2023/04/AGRCQ_Colloque2023_Marchand_UQAC_Marquis_Avizo.R.2023.04.12.pdf)
- Projet de restauration de cours d'eau en milieu agricole, Québec : projet Castor (ROBVQ2023) <https://robvq.qc.ca/projet-castor/>
- Restauration de la rivière Kissimmee, Floride (FAU 2018) <https://www.ces.fau.edu/riverwoods/kissimmee.php>

## Restauration d'un espace de liberté

L'espace de liberté est un concept de gestion des cours d'eau et d'aménagement du territoire adapté et proposé au Québec par Biron et al. (2013) reconnaissant l'espace que doivent occuper les processus (inondation et érosion majoritairement) façonnant un cours d'eau pour assurer une gamme de services écosystémiques et de sécurité publique. Des concepts comparables ont été développés ailleurs dans le monde, notamment en France (Malavoi *et al.* 1998; Piégay *et al.* 2005) en Espagne (Ollero 2010), de même qu'au Vermont (Kline et Cahoon 2010), et présentent des caractéristiques propres aux enjeux et réalités géographiques locales. Les différentes approches utilisées ont des objectifs similaires, c'est-à-dire de laisser un corridor érodable et inondable pour l'équilibre hydrosédimentaire du cours d'eau, pour maintenir ses fonctions écosystémiques et pour prévenir les risques d'inondations. Cela nécessite de privilégier un développement à l'extérieur des zones à risques, c'est-à-dire en dehors du corridor fluvial (Marcoux-Viel 2015). Biron et al. (2013) distinguent l'espace de mobilité, qui est associé à la dynamique latérale du chenal, et l'espace d'inondabilité qui, combinés, forme l'espace de liberté. L'espace de mobilité assure un corridor fonctionnel pour que les processus hydrogéomorphologiques opèrent. L'espace d'inondabilité améliore la connectivité avec la nappe phréatique et les milieux humides. Les deux espaces combinés offrent une meilleure qualité de l'eau et augmentent la capacité de résilience du cours d'eau dans un contexte de changements climatiques (Palmer *et al.* 2009; Biron *et al.* 2013).

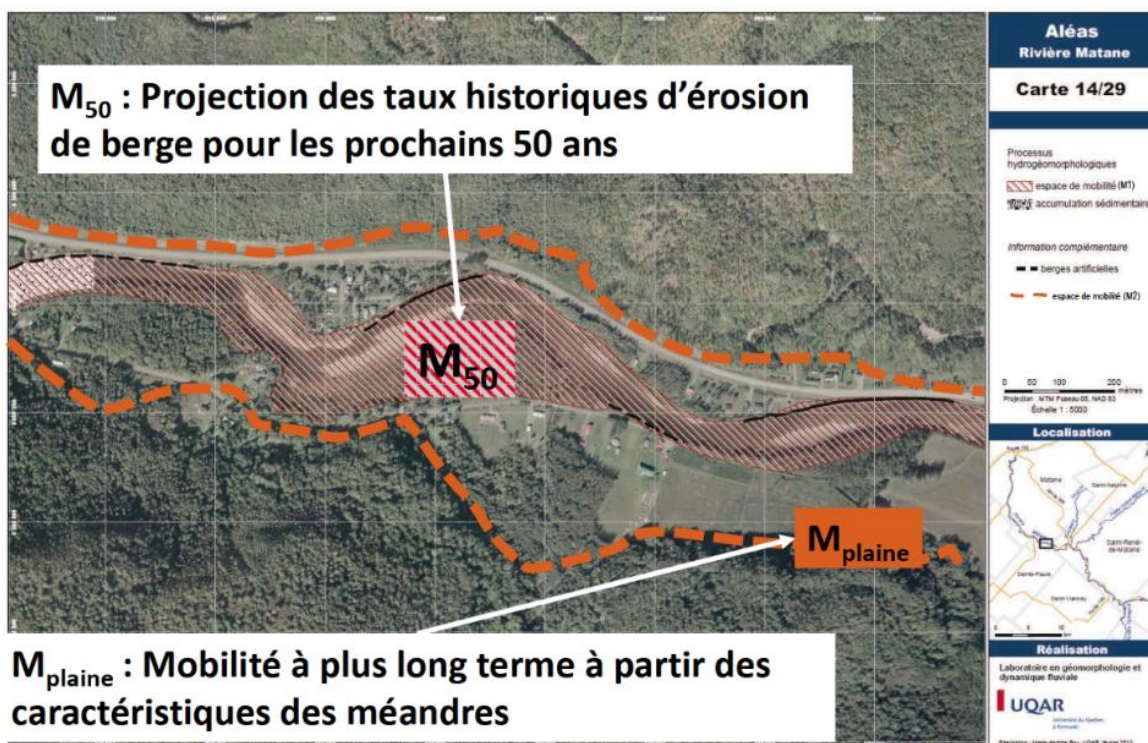


Figure 11 : Cette figure montre deux niveaux de mobilité, le  $M_{50}$  et le  $M_{plaine}$  issu de l'article publié de Biron et al. (2014)

Il existe deux types d'espaces de mobilité pouvant s'adapter aux caractéristiques du cours d'eau et de son environnement : le  $M_{50}$  et le  $M_{plaine}$  (Biron *et al.* 2014) (Figure 11). Le  $M_{50}$  est basé sur les prévisions d'érosion dans un horizon de 50 ans, Le  $M_{plaine}$  est basé sur l'amplitude des méandres et est utilisé pour la mobilité à plus long terme. Dans un contexte où le cours d'eau est stabilisé ou rectifié depuis plusieurs

---

décennies, il peut s'avérer difficile d'obtenir les taux d'érosion historiques. Le  $M_{50}$  devient alors difficile à déterminer, mais le  $M_{\text{plaine}}$  demeure une option même si le cours d'eau est rectifié. Il est alors possible de déterminer le  $M_{\text{plaine}}$  en se basant sur la morphologie des cours d'eau naturels à proximité présentant les mêmes caractéristiques environnementales.

L'espace de liberté implique de laisser la place à un environnement plus naturel où le cours d'eau peut circuler librement. Une revégétalisation peut s'avérer pertinente dans le cas où l'environnement est trop dégradé. La végétation de la plaine alluviale assure une zone tampon bénéfique pour diminuer le risque d'inondation en aval et pour l'amélioration de la qualité de l'eau et pour la faune riparienne. Elle procure également de l'ombrage au cours d'eau limitant la hausse de température et l'érosion excessive.

#### Littérature et Guides techniques:

- Espace de liberté au Québec: Freedom space for rivers: a sustainable management approach to enhance river resilience (Biron *et al.* 2013; Biron *et al.* 2014)
- France : Guide technique N° 2. Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau (Malavoi *et al.* 1998)
- Espagne: Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain (Ollero 2010)
- Vermont, États-Unis: Protecting river corridors in Vermont (Kline et Cahoon 2010)
- France: A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion (Piégay *et al.* 2005).

---

# Analyse hydrogéomorphologique du haut bassin versant de la rivière Lorette et suggestions de restauration par les processus HGM

---

## Analyse de la trajectoire historique du bassin versant de la rivière Lorette

### La rivière Lorette

La rivière Lorette est une rivière à méandres peu dynamique, d'abord en raison de sa faible pente tout au long de son parcours ( $<0.01\text{m m}^{-1}$ ), mais également en raison du niveau de stabilisation des berges et de son anthropisation souvent antérieure aux premières photographies aériennes disponibles, soit 1948. Une large portion du secteur aval de la rivière Lorette, c'est-à-dire à partir de la confluence avec le ruisseau Mont Châtel, se trouvait alors en milieu agricole avant d'être urbanisée. Plusieurs secteurs y ont été linéarisés avant 1948 ou 1965 afin de faciliter l'agriculture ou pour le développement urbain (Figure 12). Les tronçons linéarisés sont ensuite entretenus ou stabilisés, entraînant une diminution des processus naturels et empêchant la migration latérale. L'urbanisation s'est ensuite développée de plus en plus près de la rivière et des enrochements sont apparus au fil du temps afin de limiter l'érosion des berges. Ainsi, plusieurs secteurs à l'aval de la rivière Lorette ne montrent aucune mobilité depuis 1965. Cependant, quelques secteurs demeurent mobiles tel que le montre la Figure 13. On y observe une migration du méandre d'environ 50 mètres entre 1965 et 2019, représentant un peu plus d'un mètre d'érosion latérale par an, ainsi qu'un recoupement de méandre survenu entre 2003 et 2013. Cependant, le secteur illustré à la Figure 13 est celui présentant le plus fort taux de mobilité dans le tronçon aval de la rivière Lorette, alors que le reste du tronçon présente un taux de mobilité presque nul ou non significatif compte tenu de la marge d'erreur liée au géoréférencement des images historiques. La faible mobilité du cours d'eau ne peut s'expliquer que par la stabilisation des berges, car plusieurs secteurs libres d'enrochements sont également stables. Cela peut s'expliquer, à titre d'exemples, par les faibles pentes typiques des milieux agricoles et aussi par la nature cohésive des sédiments exigeant davantage d'énergie pour que les processus d'érosion s'activent. Cependant, il ne faut pas négliger l'impact des modifications anthropiques peu documentées à travers le temps et non visibles par imagerie aérienne (Figure 14).

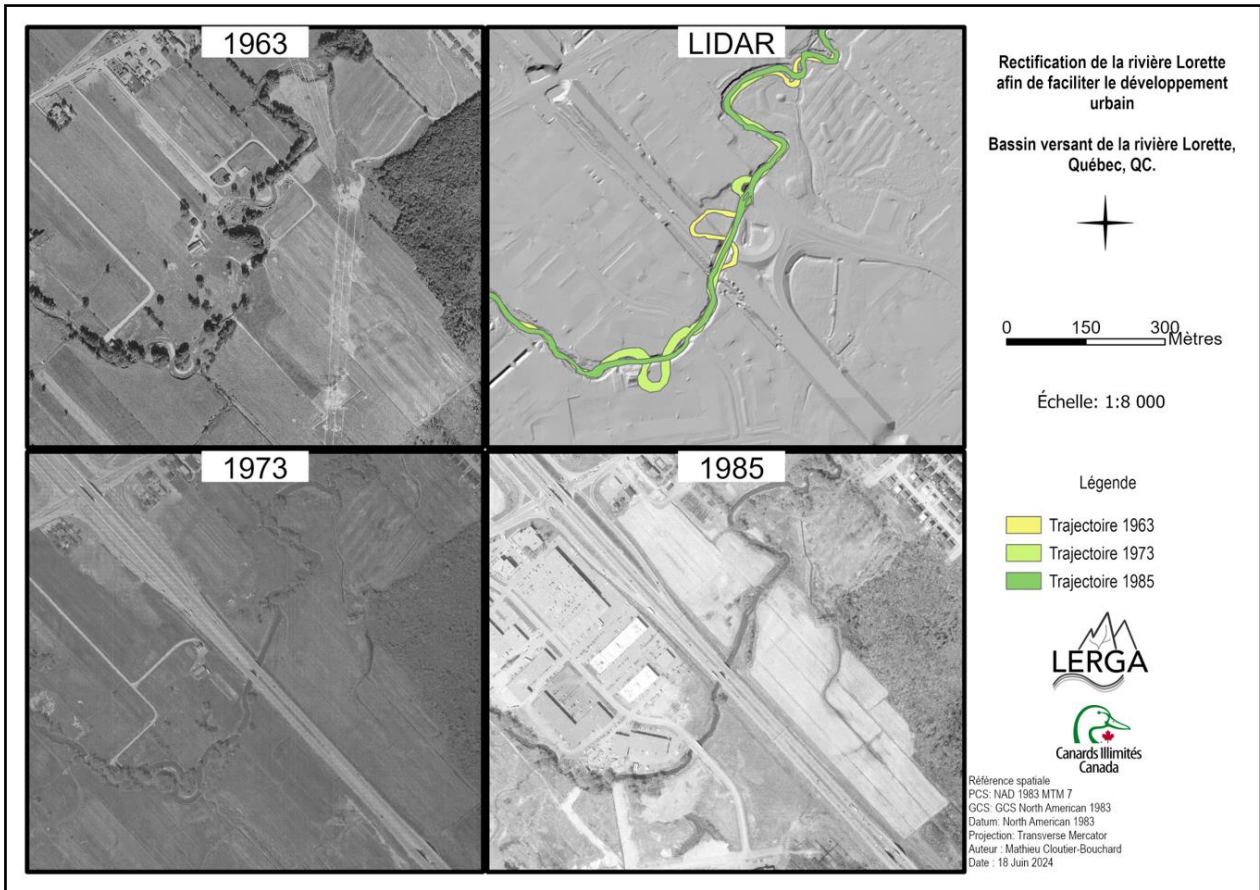


Figure 12 : Évolution historique du tracé de la rivière Lorette montrant une rectification du chenal pour faciliter le développement urbain, et comparaison des tracés sur imagerie LiDAR. Source : Orthomosaïques de 1965, 1973 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

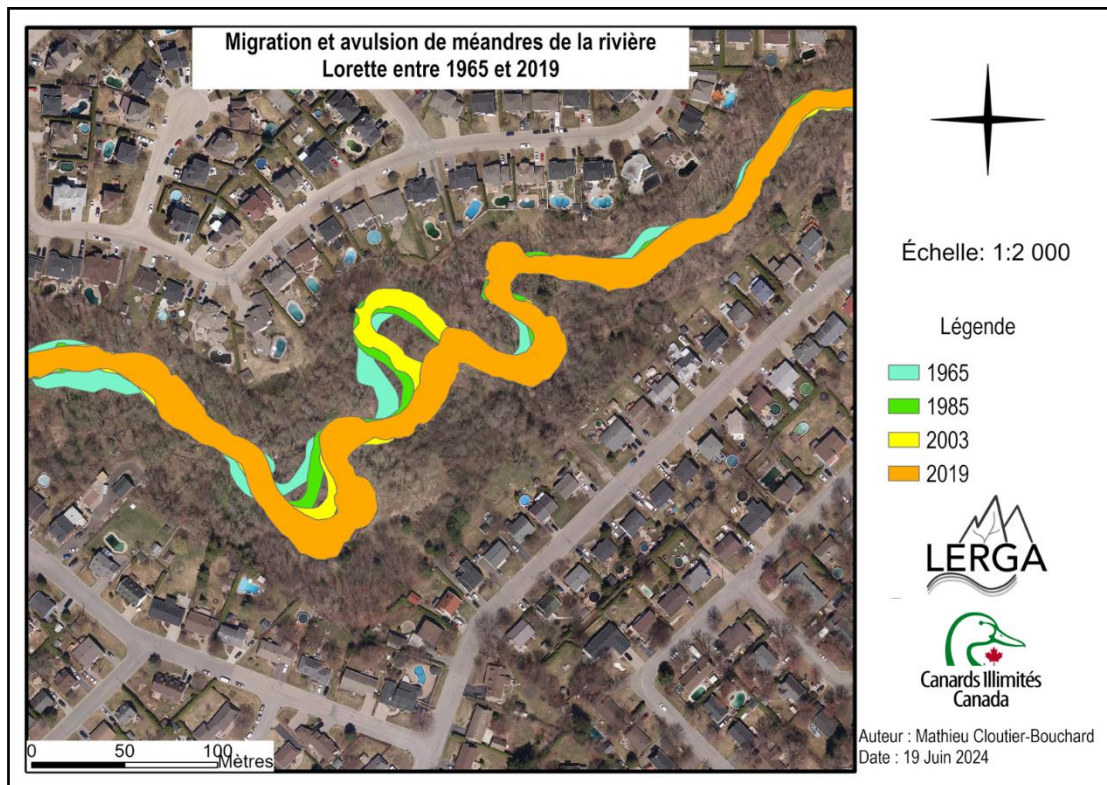


Figure 13 : Évolution historique de tracé du lit mineur de la rivière Lorette depuis 1965 jusqu'à 2019, montrant la migration d'un méandre ainsi qu'un recouplement de méandre entre 2003 et 2019. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.



Figure 14 : Exemple de berges stabilisées non visibles par imagerie aérienne dont la date de construction est inconnue, rivière Lorette (auteur photo : Agiro).

Le secteur intermédiaire de la rivière Lorette, c'est-à-dire entre le ruisseau de la Souvenance et le ruisseau Mont Châtel, présente un style de rivière à méandres. Ce tronçon se trouve majoritairement en milieu agricole, mais un secteur urbain s'est développé du côté sud de la rivière au cours des années 1970-1980. Dans ce tronçon, la sinuosité du cours d'eau n'a diminué que légèrement (l'indice de sinuosité moyenne pour les segments 61 et 62 est passé de 1.43 en 1948 à 1.33 en 2019) et les ouvrages de stabilisation semblent moins présents qu'à l'aval. Des rectifications ont tout de même eu lieu pour le développement urbain (Figure 15) et l'analyse du LiDAR permet d'observer des zones d'empiètement des terres agricoles et de plusieurs terrains privés sous forme de remblai dans la plaine alluviale. C'est dans ce tronçon de la rivière Lorette que les processus d'érosion sont les plus actifs. La translation et le recoupement de méandres s'observent à presque tous les endroits où un espace de mobilité le permet. Les taux de migration latérale peuvent atteindre jusqu'à environ 30 mètres linéaires depuis 1948, mais plusieurs secteurs demeurent stables. La stabilité de ces secteurs semble être attribuable à la rectification ou l'entretien du cours d'eau ou au remblai et/ou la stabilisation des berges par enrochements.

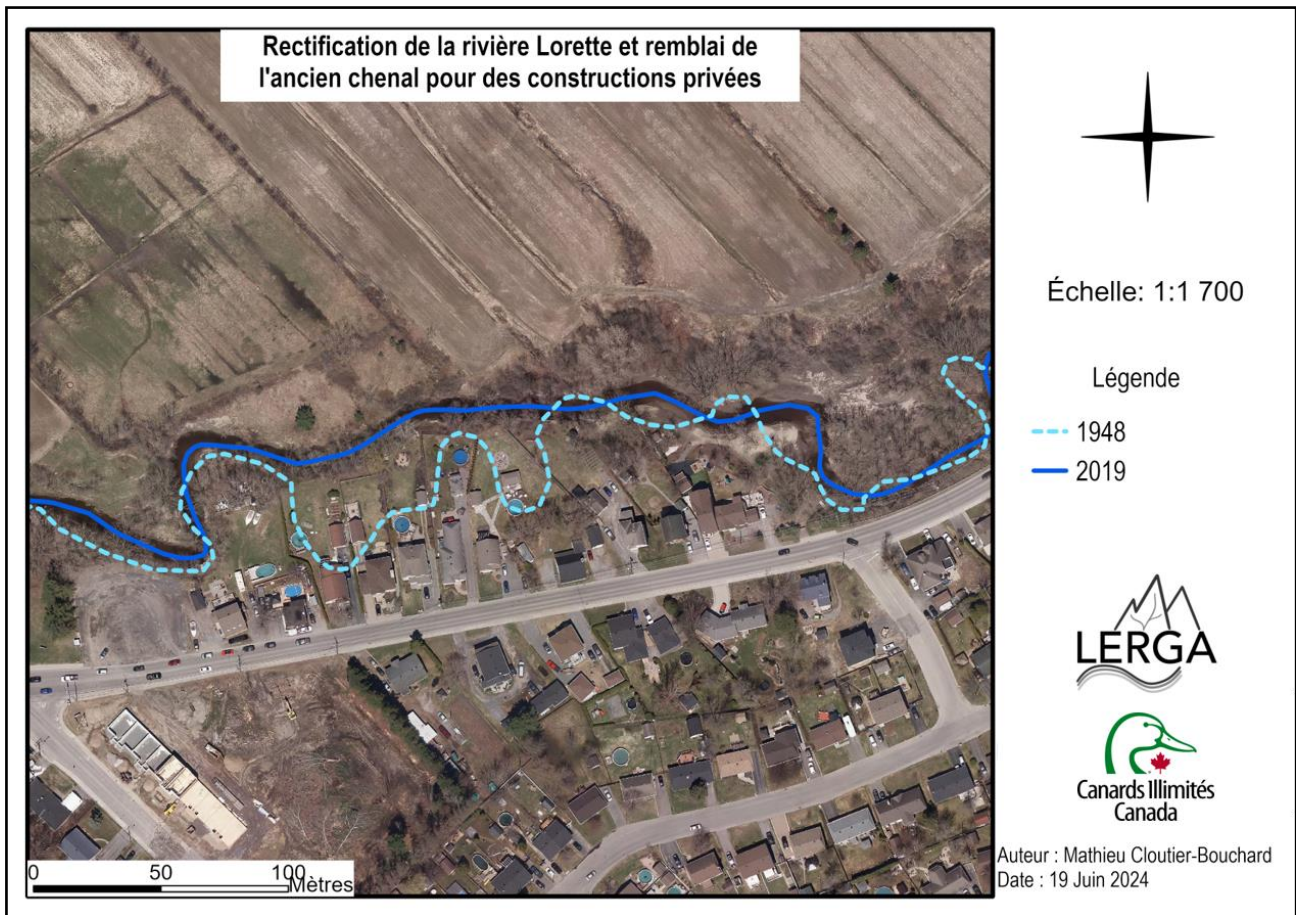


Figure 15 : Image aérienne datant de 2019 illustrant la comparaison du tracé de la rivière Lorette avec son ancien tracé en 1948, avant sa rectification. On observe que les anciens méandres ont été remblayés pour le développement de propriétés privées. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

Le secteur à partir de l'amont de la rivière Lorette jusqu'au ruisseau de la Souvenance présente un style complètement linéaire et anthropique. Cette portion a été presque entièrement linéarisée avant 1948, donc avant l'imagerie aérienne disponible, et la plaine alluviale remblayée pour faciliter l'agriculture. La linéarisation et l'entretien des cours d'eau limitent les processus d'érosions laissant ainsi le cours d'eau statique depuis 1948. Seulement une portion a été linéarisée entre 1948 et 1965 (Figure 16) permettant de constater la sinuosité naturelle du chenal avant sa linéarisation (indice de sinuosité de 1.52). Ce tronçon permet d'avoir un aperçu de la sinuosité du reste du cours d'eau avant sa linéarisation.

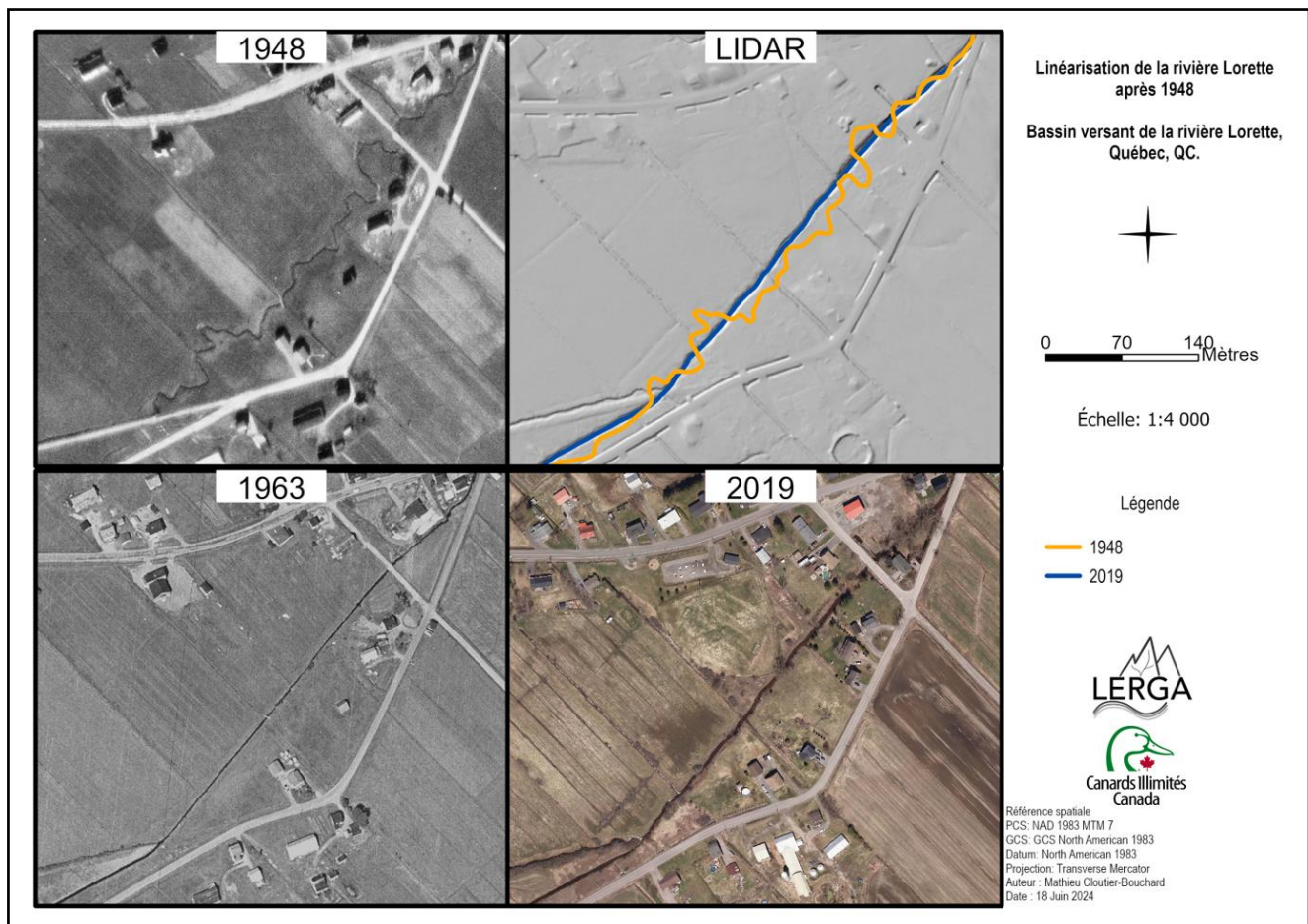


Figure 16 : Évolution historique de la rivière Lorette montrant sa trajectoire avant sa linéarisation (1948), après sa linéarisation (1965) et demeuré linéaire jusqu'en 2019, puis comparaison de son ancien tracé par rapport à aujourd'hui sur imagerie LiDAR. Source : Orthomosaïques de 1948, 1965 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

## Les tributaires de la rivière Lorette

Le ruisseau Sans Nom, circulant en milieu agricole, a également été linéarisé avant 1948. Ce cours d'eau est stable, ne montrant aucun changement dans sa trajectoire historique. Ce petit cours d'eau situé en tête de bassin versant est peu dynamique et les processus HGM semblent peu actifs (peu de signes de mobilité).

Le ruisseau de la Souvenance, en partie situé en milieu agricole, ne semble pas avoir été rectifié. Sa partie aval (segment 51), plus mobile, montre une migration latérale et des avulsions depuis 1948 à l'intérieur d'un corridor large d'environ 10 mètres. Son indice de sinuosité était de 1.4 en 1948, de 1.3 en 1985 et de 1.28 en 2019 représentant une légère perte de sinuosité avec le temps. Cette perte de sinuosité peut être attribuable aux activités agricoles dans la plaine alluviale du cours d'eau. La partie amont, située davantage en milieu boisé, ne montre que très peu de mobilité et présente un indice de sinuosité moyenne de 1.25 qui ne change pas depuis 1948. La différence dans la mobilité du tronçon amont et aval peut être attribuable à la nature des dépôts de surfaces (le tronçon aval circule dans les anciens dépôts de la mer de Champlain), de même que le type de végétation (arbustive ou absente pour le tronçon aval et arborescente pour l'amont).

En ce qui a trait au ruisseau des Fiches, sa trajectoire historique présente très peu de modifications depuis 1948, mis à part certains secteurs rectifiés. Cependant une grande part de ce cours d'eau ne peut

être analysé finement due à son parcours en milieu boisé. Le couvert forestier figure comme une limite pour la quantification des changements dans sa trajectoire historique et actuelle, car on distingue très peu ses berges.

Le ruisseau Mont Châtel a d'abord été bouleversé par l'agriculture et ensuite par l'urbanisation, notamment par la construction de routes. Plusieurs tronçons ont donc été linéarisés et d'autres sont demeurés naturels. L'analyse historique sur imagerie aérienne des tronçons naturels est plus difficile à effectuer compte tenu de la présence de végétation mature cachant le cours d'eau, cependant, l'analyse du LiDAR montre la présence d'une plaine alluviale récente et d'anciens chenaux (Figure 17A). Ensuite, d'autres tronçons ont été linéarisés (Figure 17B) et/ou déplacés (Figure 17C), causant une perte notable par rapport à la sinuosité où, à titre d'exemple, le cours d'eau est passé d'un indice de sinuosité de 1.44 à 1 pour le tronçon présenté dans la Figure 17B.

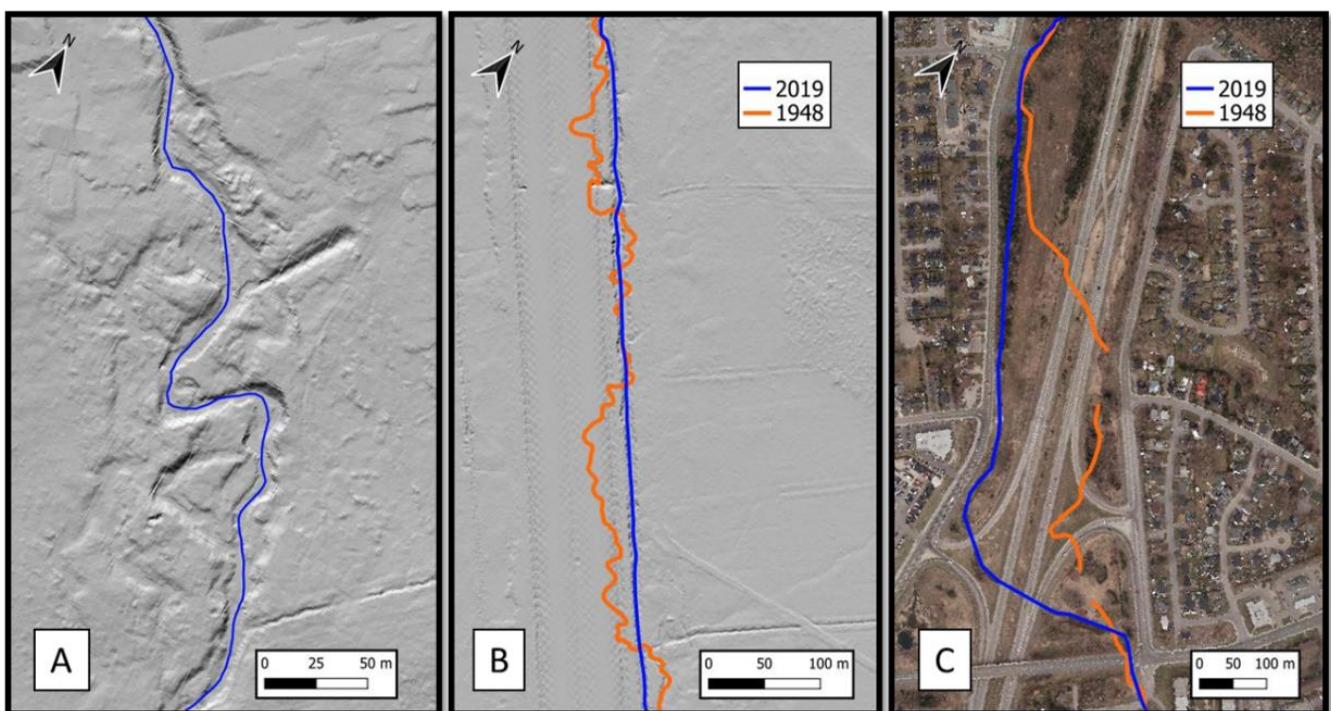


Figure 17 : A) Imagerie LiDAR montrant la plaine alluviale avec d'anciens chenaux sur un tronçon du ruisseau Mont Châtel ; B) imagerie LiDAR illustrant la rectification du ruisseau Mont-Châtel par rapport à son ancien tracé en 1948 ; C) image aérienne présentant un tronçon du ruisseau Mont Châtel déplacé pour le passage de la route. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

---

## **Analyse de l'évolution historique et actuelle de l'indice de qualité morphologique (IQM) du haut bassin versant de la rivière Lorette**

L'indice de qualité morphologique (IQM) est un outil d'évaluation utilisé en hydrogéomorphologie pour mesurer la qualité morphologique d'un cours d'eau et qui s'applique aisément à l'échelle d'un bassin versant (Lemay *et al.* 2021). Cet outil permet d'identifier les perturbations anthropiques à proximité des cours d'eau et d'évaluer leurs impacts sur la qualité morphologique de ceux-ci (Rinaldi *et al.* 2013). Les indicateurs de l'IQM permettent entre autres d'évaluer la continuité latérale et longitudinale d'un cours d'eau, la configuration de la section transversale, la présence de végétation sur la bande riveraine, la mobilité des berges, la diversité de formes présentes et les altérations subites dans le paysage fluvial à l'étude (Rinaldi *et al.* 2013). L'IQM s'avère également un outil intéressant pour orienter la gestion des écosystèmes fluviaux et de leur restauration à l'échelle d'un bassin versant, particulièrement dans les environnements dégradés comme les cours d'eau agricoles (Lemay *et al.* 2021). Un des avantages à l'utilisation de l'IQM est qu'il peut être fait à distance. Cela permet des évaluations sur de vastes territoires relativement rapidement et de manière peu coûteuse grâce à l'utilisation de données télédéteectées (photographies aériennes et LiDAR). En effet, lorsque le travail sur le terrain est limité par certaines contraintes, l'utilisation d'un IQM à distance à partir de données télédéteectées est en mesure de fournir des résultats très proche de l'IQM standard avec évaluations terrain (Lemay *et al.* 2021).

Dans le cadre de ce mandat, l'IQM a été calculé principalement à distance à l'aide du guide de Rinaldi *et al.* (2016) pour six cours d'eau du bassin versant de la rivière Lorette pour les années 1948, 1985 et 2019 (ANNEXE 1, ANNEXE 2 et ANNEXE 3). L'IQM du haut bassin versant de la rivière Lorette a presque uniquement été compilé par l'analyse de photographies aériennes, des données LiDAR et des données spatiales disponibles sur Forêt Ouverte et/ou fournies par la Ville de Québec. Des validations terrain ont également eu lieu pour consolider certains indicateurs. Les cours d'eau ayant préalablement été segmentés, l'IQM a été compilé pour un total de 35 segments. L'évolution historique des résultats de l'IQM est présentée dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Évolution historique de l'IQM des segments des cours d'eau du haut bassin versant de la rivière Lorette pour les années 1948, 1985 et 2019. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Rouge = Très faible, Orange = Faible, Jaune = Moyen, Vert = Bon, Bleu = Très bon. Les tendances historiques sont illustrées comme suit : → = stable, ↘ = à la baisse, ↗ = à la hausse.

Toponyme	# Segments	1948	1985	2019	Tendance historique
Ruisseau sans nom	55	0.40	0.44	0.48	→
Ruisseau de la Souvenance	51	0.73	0.70	0.68	↘
Ruisseau de la Souvenance	77	0.65	0.67	0.73	↗
Ruisseau de la Souvenance	78	1.00	0.84	0.78	↘
Ruisseau de la Souvenance	79	0.64	0.67	0.69	→
Ruisseau de la Souvenance	80	0.79	0.88	0.89	↗
Affluent de la Souvenance	49	0.92	0.71	0.73	↘
Affluent de la Souvenance	81	0.92	0.83	0.84	↘
Affluent de la Souvenance	82	0.92	0.73	0.70	↘
Ruisseau des Friches	52	0.12	0.25	0.31	↗
Ruisseau des Friches	83	0.60	0.60	0.74	↗
Ruisseau des Friches	73	0.82	0.36	0.27	↘
Ruisseau des Friches	74	0.83	0.54	0.77	↘ + ↗
Ruisseau des Friches	75	0.91	0.89	0.92	→
Ruisseau Mont Châtel	53	0.21	0.48	0.39	↗ + ↘
Ruisseau Mont Châtel	67	0.50	0.41	0.31	↘
Ruisseau Mont Châtel	68	0.71	0.86	0.78	↗ + ↘
Ruisseau Mont Châtel	69	0.68	0.39	0.43	↘ + ↗
Ruisseau Mont Châtel	70	0.67	0.82	0.85	↗
Ruisseau Mont Châtel	71	0.65	0.27	0.34	↘ + ↗
Ruisseau Mont Châtel	76	0.78	0.38	0.58	↘ + ↗
Ruisseau Mont Châtel	72	0.69	0.87	0.90	↗
Ruisseau Notre-Dame	54	0.85	0.71	0.74	↘
Ruisseau Notre-Dame	66	0.74	0.33	0.36	↘
Rivière Lorette	50	0.51	0.47	0.50	↘
Rivière Lorette	56	0.69	0.71	0.67	↗ + ↘
Rivière Lorette	57	0.55	0.37	0.41	↘
Rivière Lorette	58	0.76	0.70	0.63	↘
Rivière Lorette	59	0.77	0.68	0.68	↘
Rivière Lorette	60	0.81	0.77	0.75	→
Rivière Lorette	61	0.60	0.57	0.59	→
Rivière Lorette	62	0.65	0.54	0.61	→
Rivière Lorette	63	0.50	0.33	0.38	→
Rivière Lorette	64	0.37	0.37	0.41	→
Rivière Lorette	65	0.37	0.37	0.41	→

Pour certains tronçons à l'étude, un faible IQM entre 1948 et 1985 a été observé en raison du développement agricole, de la construction de barrages et de l'urbanisation entraînant la linéarisation des cours d'eau qui a marqué ces années au Québec. Entre 1985 et 2019, une amélioration de l'IQM de ces segments a été observée en raison du retour à un état plus naturel des cours d'eau, du retrait des activités agricoles et même le démantèlement partiel de certains barrages dans le paysage. Par ailleurs, il est également possible d'observer que l'IQM d'une dizaine de tronçons du bassin versant montre une tendance à l'amélioration, alors qu'une quinzaine de tronçons semblent se dégrader. D'ailleurs, l'IQM de dix segments semble plutôt stable depuis 1948 jusqu'à aujourd'hui. Cependant, la majorité d'entre eux affichent un IQM faible ou moyen, entre autres en raison de leur linéarisation, du manque de

végétation sur leurs bandes riveraines, de l'absence d'une plaine alluviale moderne et d'une diversité géomorphologique. Une analyse plus détaillée de l'IQM de chaque cours d'eau constitue la suite de cette section du rapport.

### Ruisseau Sans Nom

L'IQM du ruisseau Sans Nom est faible et stable dans le temps. La quasi-totalité du ruisseau semble avoir été rectifiée avant 1948 en raison du développement de l'agriculture. En aval du cours d'eau, il est possible d'observer quelques méandres en 1948 qui ont aussi été linéarisés avant 1965 (Figure 18). De nos jours, le cours d'eau n'a plus de plaine alluviale moderne et sa bande riveraine n'est pas suffisamment végétalisée. On y retrouve également de multiples ponceaux et il n'affiche aucune diversité sur le plan géomorphologique. Toutefois, le corridor d'érodabilité potentiel du ruisseau est long et large, c'est-à-dire que peu d'infrastructures sont situées de manière à limiter son déplacement latéral potentiel. L'enjeu principal de restauration dans ce cours d'eau est que son tracé est exclusivement sur des terres agricoles privées.

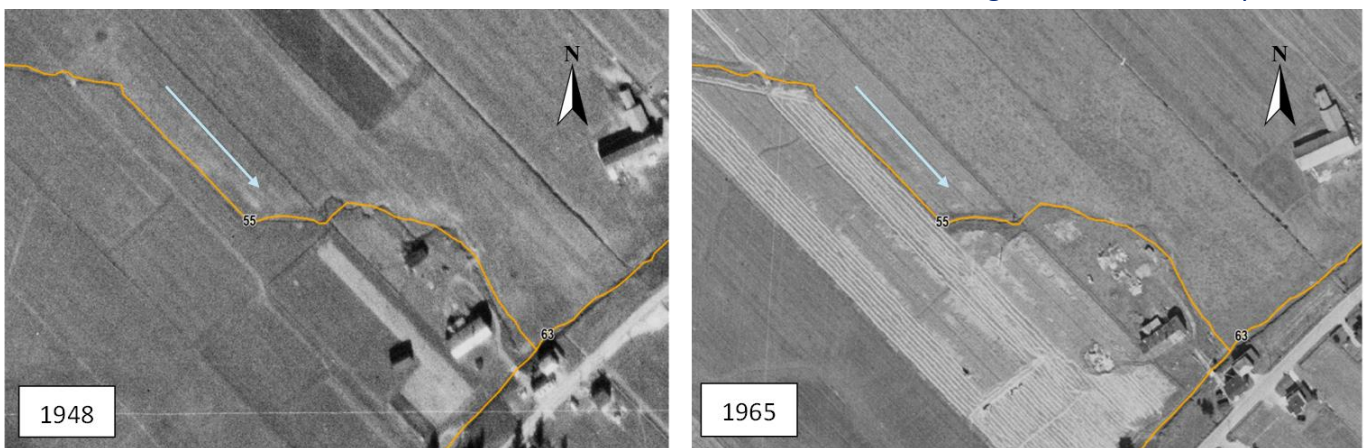


Figure 18 : Linéarisation d'un secteur à méandres du Ruisseau Sans Nom entre 1948 et 1965 en raison du développement de l'agriculture. La couleur des tronçons IQM est associée à la valeur suivante : Orange = Faible. Source : Orthosaïques 1948 et 1965. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

### Ruisseau de la Souvenance

Le ruisseau de la Souvenance garde un IQM assez élevé à travers le temps. Certains tronçons du cours d'eau ont un IQM se situant autour de 0.65 (moyen) en 2019. Cela s'explique principalement par la rectification du tracé fluvial dans le temps, de la présence d'ouvrages de stabilisation des rives et de la présence d'infrastructures humaines comme un barrage récréatif et de villégiature (Gestion La Souvenance inc.) situé en aval du ruisseau. Ce barrage construit en 1930 a été modifié en 1977 pour en faire un barrage au fil de l'eau avec réservoir, ce qui impacte davantage les débits liquides et solides du segment situé en aval (segment 51) (Figure 19). En ce qui a trait à l'IQM du tronçon 77, il s'améliore à travers le temps en raison de la revégétalisation de la bande riveraine et du retrait du bassin artificiel en aval du tronçon entre 1965 et 1985 (Figure 19). Toutefois, il est possible d'observer qu'un petit secteur à l'amont du tronçon 77 demeure un secteur agricole avec peu de végétation riveraine. Le cours d'eau y a été rectifié depuis longtemps et un bassin artificiel y a été rajouté entre 1948 et 1965 (Figure 20).

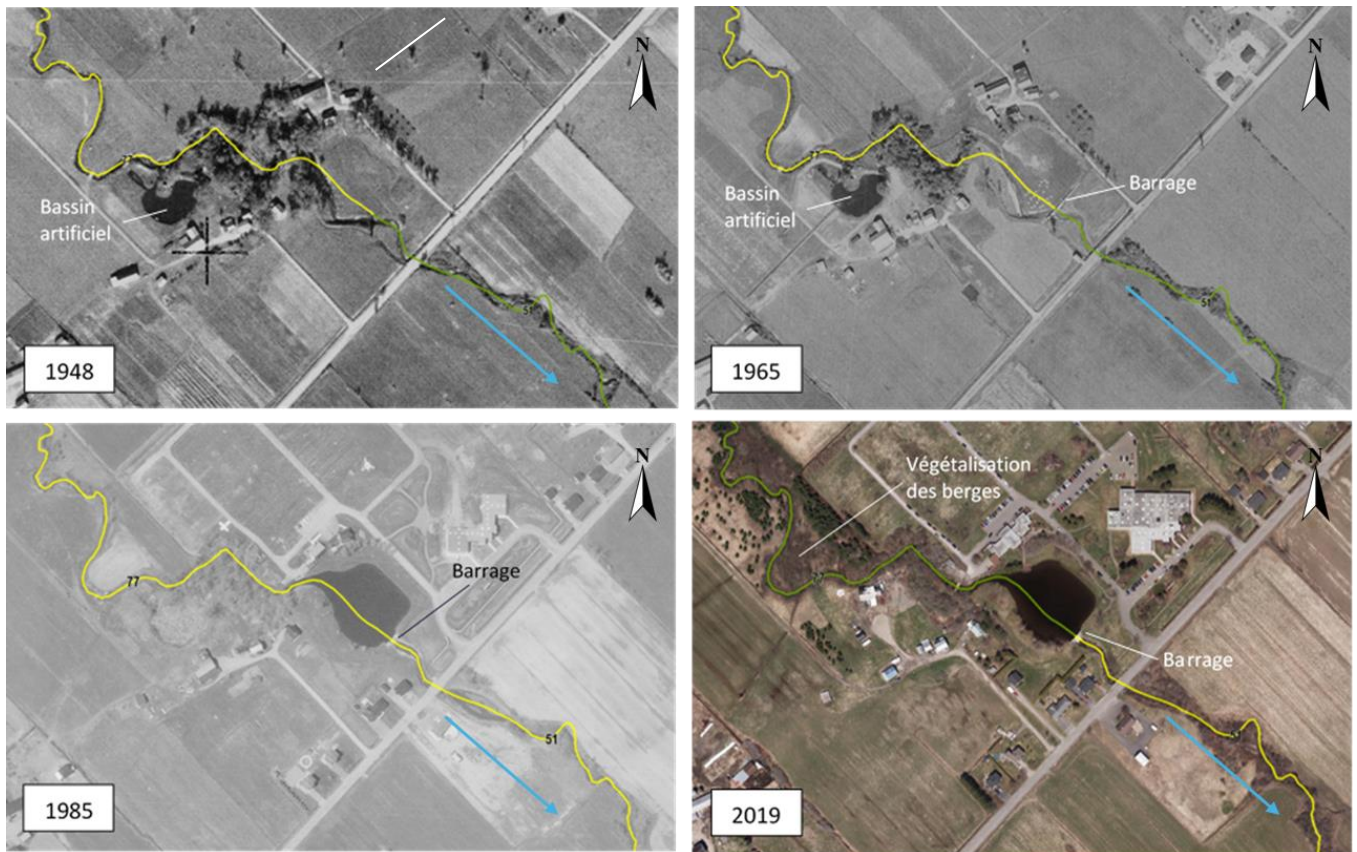


Figure 19 : Évolution historique de l'IQM du segment 51 (aval) et du segment 77 (amont). Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Jaune = Moyen, Vert = Bon. Source : Orthomosaïques 1948, 1965, 1985 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

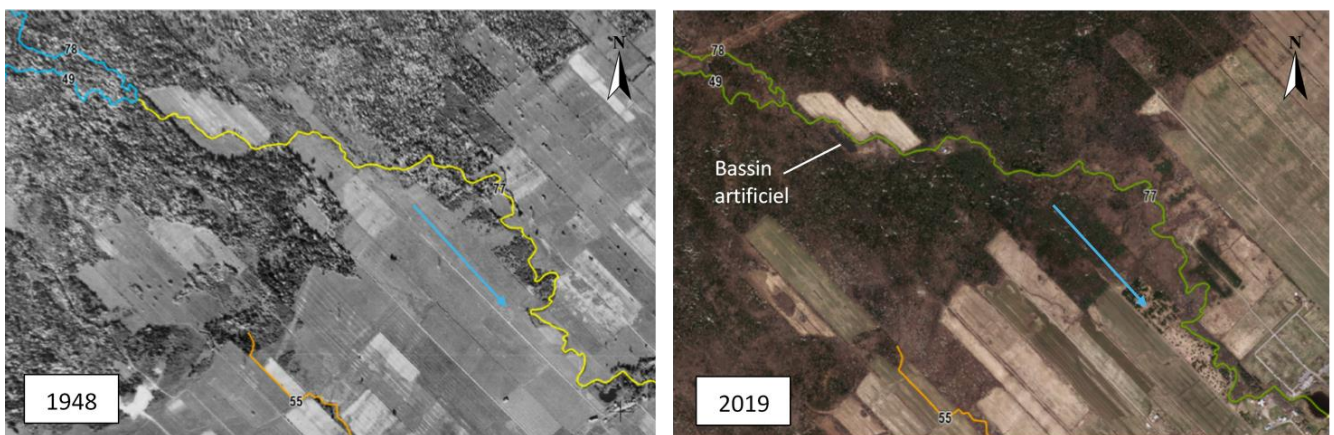


Figure 20 : Vu d'ensemble du tronçon 77 entre 1948 (jaune) et 2019 (vert). Il est possible d'y observer l'ajout d'un bassin artificiel ainsi que certains secteurs linéarisés en amont. Il est également possible de noter le retour de la végétation sur une bonne partie du tronçon, ce qui explique en partie l'amélioration de son IQM dans le temps. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Orange = Faible, Jaune = Moyen, Vert = Bon, Bleu = Très bon. Source : Orthomosaïques 1948 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

Par ailleurs, l'affluent du ruisseau de la Souvenance se dégrade également à travers le temps, bien qu'il garde un IQM moyen à bon. La dégradation de l'IQM dans ce cours d'eau est principalement due à l'installation de multiples ouvrages de stabilisation et d'un barrage pour la création de petits lacs de villégiature entre 1948 et 1965 (Figure 21). Ainsi, bien que la majorité des tronçons 49, 81 et 82 soient naturels, l'anthropisation du secteur amont du cours d'eau a eu un impact significatif sur l'IQM de cet affluent, le faisant passer de très bon à moyen en amont entre 1948 et 2019.

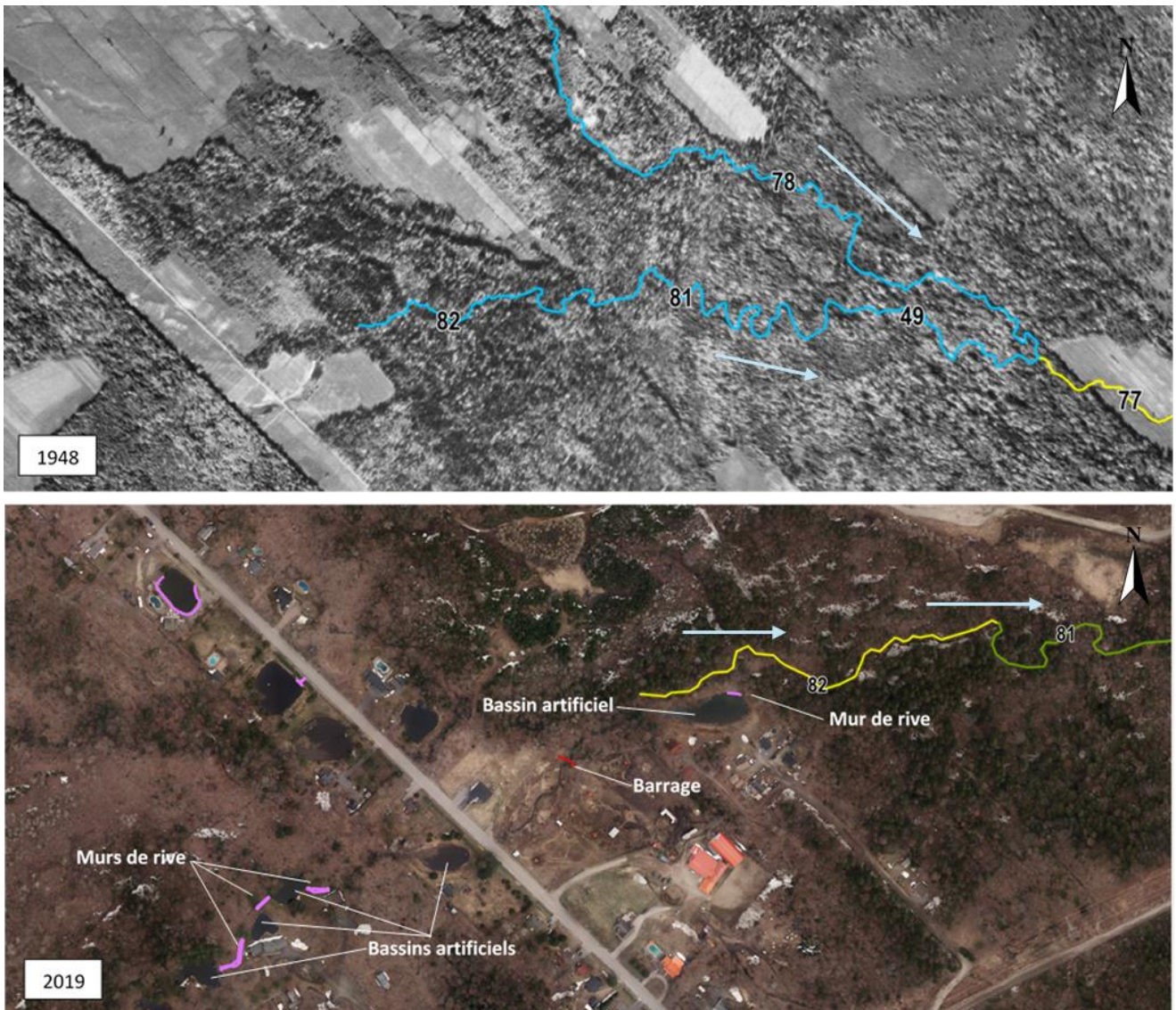


Figure 21 : Évolution du paysage hydrique de l'amont de l'affluent du ruisseau de la Souvenance. Il est possible d'observer en 2019 de multiples bassins artificiels et structures de rétention des eaux en amont du tronçon 82. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Jaune = Moyen, Vert = Bon, Bleu = Très bon. Sources : Orthomosaïques 1948 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie et Hydrographie structure (linéaires). 2021. Jeu de données vectorielles. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

### Ruisseau des Fiches

L'IQM du ruisseau des Fiches est bon pour une grande partie du cours d'eau en 2019 (hormis les segments 73 et 52). Les deux premiers segments les plus en aval du ruisseau (52 et 83) comptaient plusieurs infrastructures altérant les débits liquides et solides de manière significative (barrages avec réservoirs) jusqu'en 1985 (Figure 22). Après 1985, certains barrages ont été partiellement démantelés, améliorant le régime hydrologique de ces tronçons. Bien que les réservoirs ne soient plus présents de nos jours, le barrage situé à la limite entre le segment 52 et 83 et le barrage en aval du méandre du segment 83 sont toujours présents et ont une incidence sur la qualité morphologique du cours d'eau (ANNEXE 5).



Figure 22 : Évolution de l'IQM et représentation de l'évolution du démantèlement de barrages sur les tronçons 52 et 83 du ruisseau des Fiches. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Rouge = Très faible, Orange = Faible, Jaune = Moyen, Vert = Bon. Les photos sont issues de la visite terrain effectuée en juin 2024. Source : Orthomosaïques 1973 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

Par ailleurs, le segment 52 a un faible IQM. Un barrage au fil de l'eau, un seuil et des ouvrages de stabilisations des berges sur plus de 50% du tronçon, de même qu'une pauvre végétation riveraine affectent la qualité morphologique de ce segment (Figure 22 et Figure 31).

Le segment 73 du ruisseau des Fiches affiche un IQM de 0.27, soit très faible. Ce segment a été fortement altéré entre 1948 et 2019 (

Figure 23). En effet, alors qu'il suivait son cours naturel en 1948, il a été complètement rectifié et déplacé entre 1965 et 1973. De plus, en 2012, un barrage de régularisation des débits a été construit au

milieu du tronçon, ce qui a pour effet d'altérer davantage son régime hydrologique. Par ailleurs, bien que le couvert végétal du segment s'améliore entre 1985 et 2019, celui-ci demeure sous-optimal.

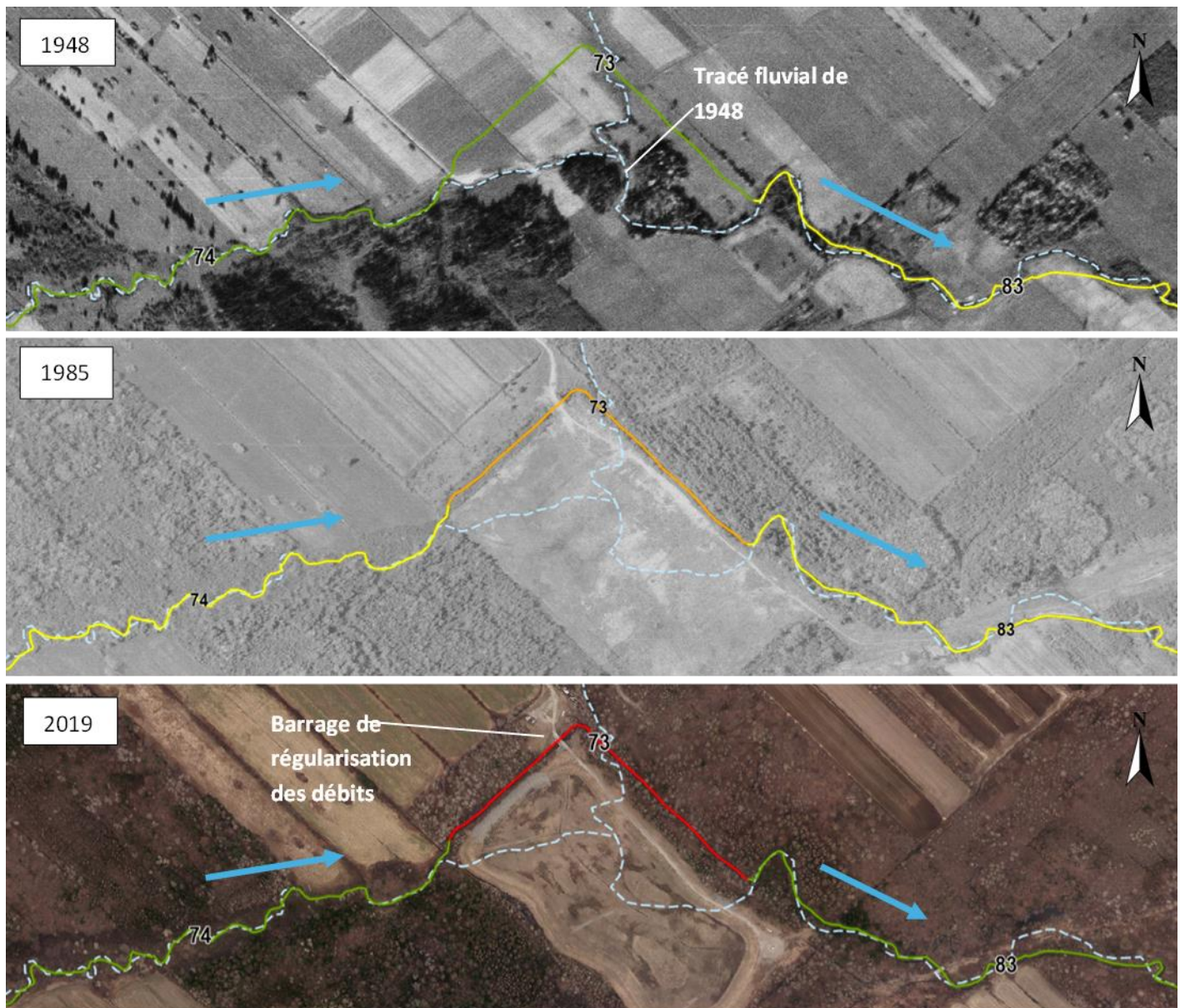


Figure 23 : Évolution historique de l'IQM du segment 73. L'ancien tracé fluvial de 1948 est illustré en ligne pointillée bleue. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Rouge = Très faible, Orange = Faible, Jaune = Moyen, Vert = Bon. Source : Orthomosaiques 1948, 1985 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

### Ruisseau Mont Châtel

En 1948, tous les segments du ruisseau Mont Châtel étaient affectés par un barrage avec réservoir qui se situait tout juste en amont du segment 72 (Figure 24). Ce barrage semble avoir été partiellement démantelé entre 1948 et 1985. De nos jours, il semble que cet ancien barrage n'ait plus d'impact significatif sur les débits et le transport de sédiments dans le ruisseau Mont Châtel. C'est pourquoi l'IQM du segment 72 s'améliore à travers le temps (moyen à très bon). Le barrage étant situé en tête de bassin versant avait une aire d'alimentation représentant seulement 10 à 20% de l'aire de drainage de la majorité des segments en aval. Cela avait pour effet d'amoindrir son impact sur les débits et le transport sédimentaire des segments en aval du tronçon 72. En effet, comme le barrage était directement situé à

la limite amont du tronçon 72, cela entravait davantage le transport sédimentaire et les débits pour ce tronçon.

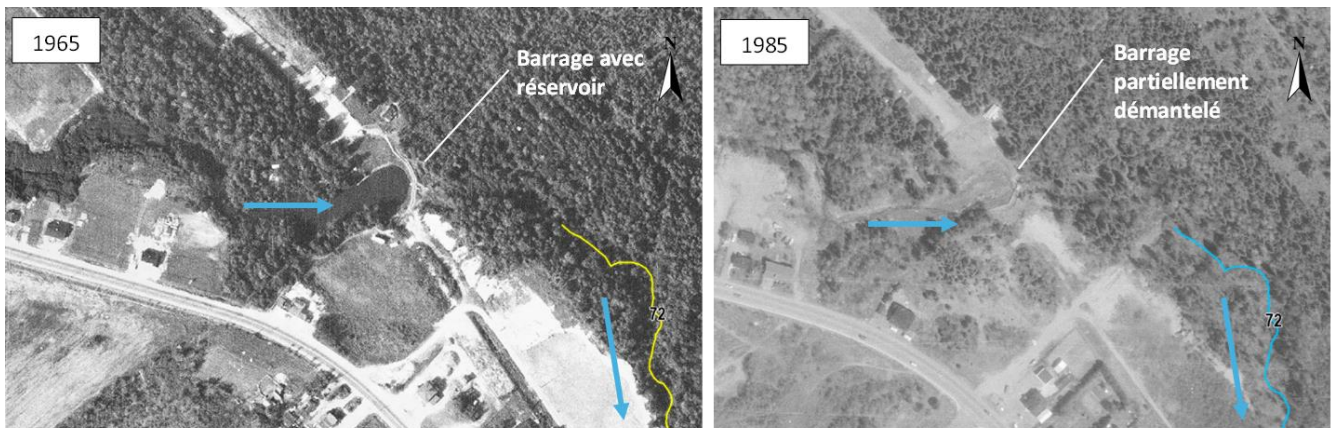


Figure 24 : Évolution de l'IQM et du barrage à l'amont du tronçon 72 dans le ruisseau Mont Châtel. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Jaune = Moyen, Bleu = Très bon. Source : Orthomosaïques 1948 et 1985. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

Par ailleurs, en 2014, un barrage à faible contenance ayant pour but le contrôle des inondations a été construit dans le tronçon 68 du ruisseau Mont Châtel (Figure 25). Cela a eu pour effet d'altérer légèrement la plaine alluviale moderne d'un secteur de ce tronçon, de même que son régime hydrologique et son flux sédimentaire. C'est pourquoi ce tronçon, de même que ceux en aval (53 et 67) se dégradent entre 1985 et 2019 (Tableau 1).

En 1948, les segments 68 et 70 du ruisseau Mont Châtel étaient partiellement agricoles. Dans certains secteurs de ces deux tronçons, le cours d'eau n'a aucune végétation riveraine et plusieurs traverses sont présentes. La repousse de la végétation et le retrait des activités agricoles le long de ces segments font en sorte que leur indice de qualité morphologique s'améliore entre 1948 et 1985 (Figure 25).

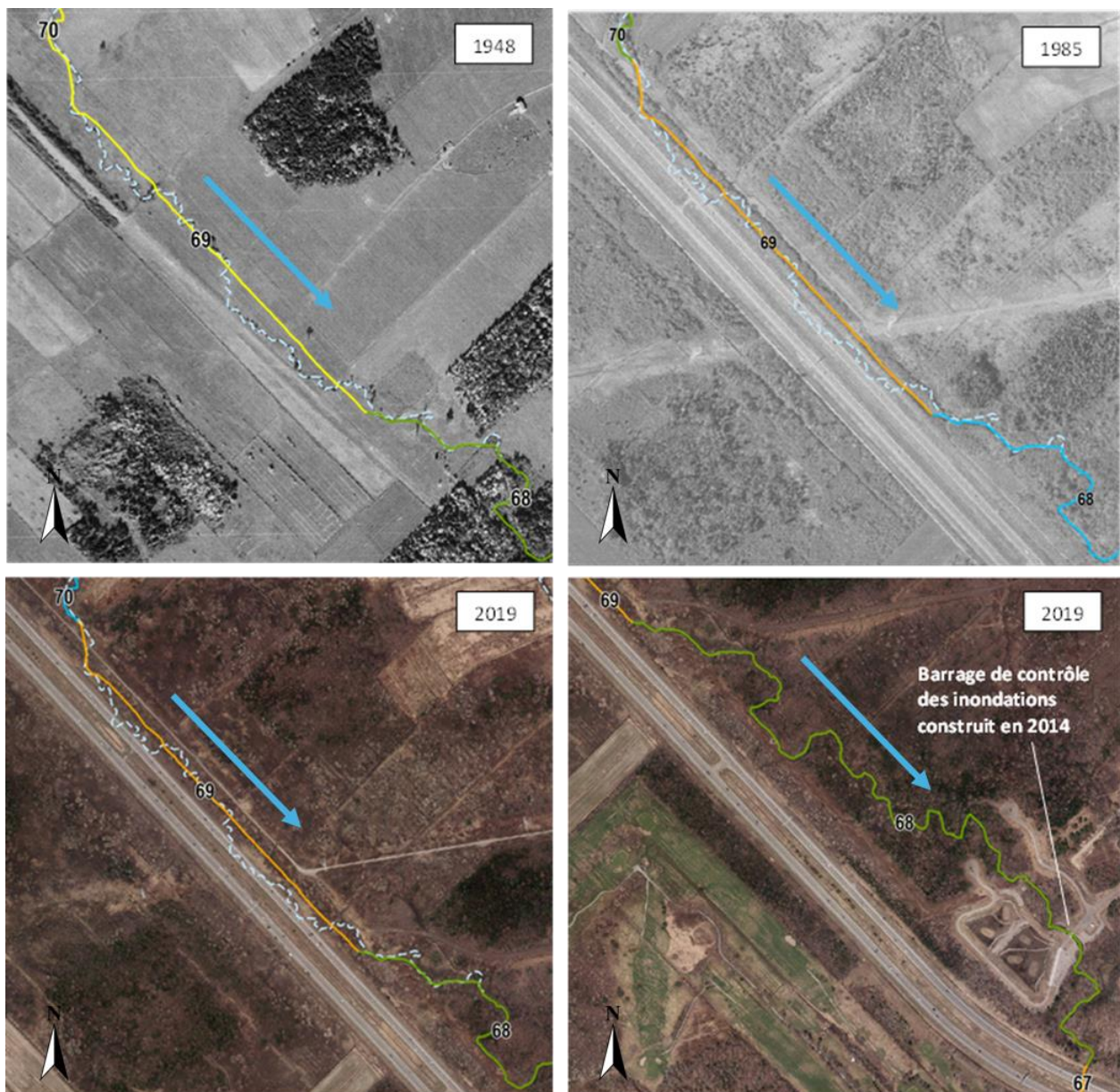


Figure 25 : Évolution de l'IQM depuis 1948 du segment 68 et 69. Il est possible de noter la linéarisation du segment 69 entre 1948 et 1985 de même que la repousse de la végétation sur les anciennes terres agricoles. L'ancien tracé fluvial de 1948 est illustré en ligne pointillée bleue. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Orange = Faible, Jaune = Moyen, Vert = Bon, Bleu = Très bon. Source : Orthomosaïques 1948, 1985 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

Également, entre 1948 et 1985, on observe la linéarisation de quelques tronçons du cours d'eau. En effet, les segments 69, 71 et 76 ont tous été linéarisés et/ou canalisés à plus de 80% et c'est en partie ce qui explique leur dégradation selon l'IQM entre ces deux années. Toutefois, la revégétalisation des berges de même que le retrait des activités humaines autour de certains secteurs de ces segments aident à ce que l'IQM de ces tronçons se bonifie entre 1985 et 2019 (Tableau 1).

L'évolution de l'IQM du tronçon 76 en amont du cours d'eau Mont Châtel se dégrade entre 1948 et 1985 principalement en raison de la rectification de son tracé d'origine que l'on peut observer sur les photographies aériennes de 1965, 1975 et 1985. Toutefois, entre 1985 et 2019, la végétation s'est réinstallée et le cours d'eau a repris un état plus naturel, ce qui explique que son IQM augmente entre ces deux périodes (Figure 26). Aujourd'hui, ce secteur est un parc de randonnée qui héberge plusieurs sentiers.

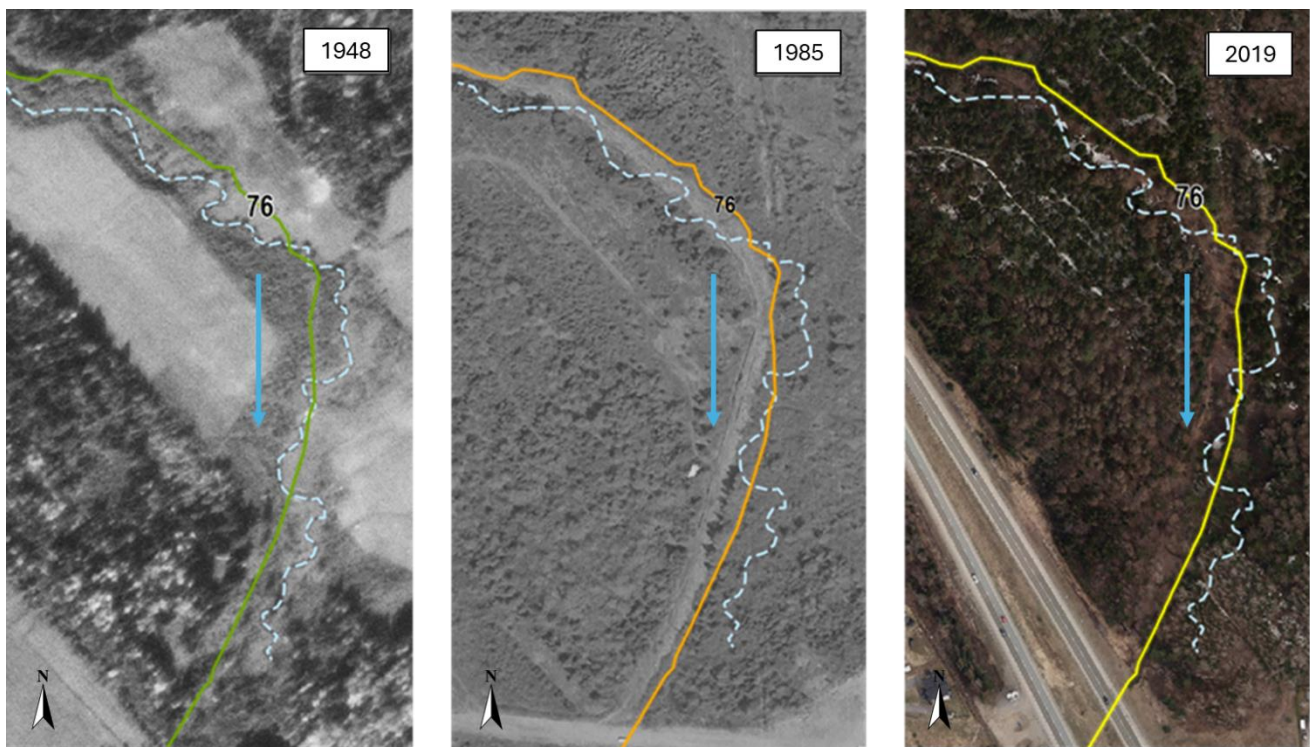


Figure 26 : Évolution du segment 76 en amont du ruisseau Mont Châtel. Il est possible d'observer la linéarisation du cours d'eau entre 1948 et 1985 avant que la végétation s'y réinstalle. L'ancien tracé fluvial de 1948 est illustré en ligne pointillée bleue. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Orange = Faible, Jaune = Moyen, Vert = Bon. Source : Orthomosaïques 1948, 1985 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

### Ruisseau Notre-Dame

L'IQM du tronçon amont (66) du ruisseau Notre-Dame se dégrade de 0.74 (bon) en 1948 à 0.36 (faible) en 2019 (Tableau 1) en raison de sa rectification, du changement de son style fluvial (à méandre vers linéaire anthropique), de l'absence de bande riveraine végétalisée et de plaine alluviale moderne (Figure 27). Également, ce tronçon comprend de multiples traverses de cours d'eau et est canalisé en amont. En ce qui a trait au tronçon 54, son IQM demeure bon à travers le temps. Ce cours d'eau a été peu rectifié et a une plaine alluviale moderne qui présente des unités géomorphologiques diverses en plus de n'avoir aucune infrastructure qui altère son régime hydrologique. Bien que la bande riveraine soit végétalisée, il demeure que le cours d'eau a un corridor de mobilité potentiel relativement limité en raison des habitations qui sont présentes sur chaque rive.

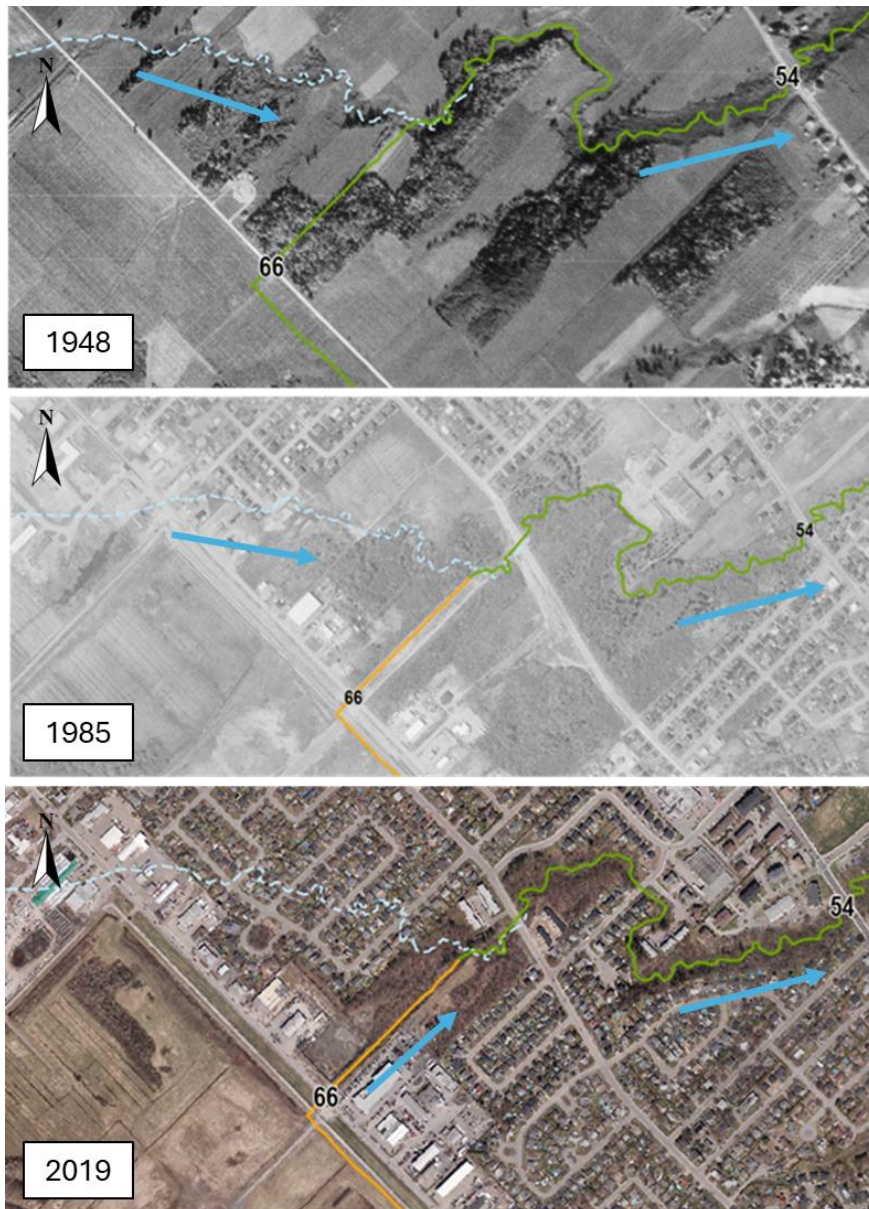


Figure 27 : Évolution du tronçon 66 en amont du ruisseau Notre-Dame. Il est possible d'observer sa linéarisation et le déplacement de son tracé fluvial entre 1948 et 2019. L'ancien tracé fluvial de 1948 est illustré en ligne pointillée bleue. Les couleurs des tronçons IQM sont associées aux valeurs suivantes : Orange = Faible, Vert = Bon. Source : Orthomosaïques 1948, 1985 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

## Rivière Lorette

Plusieurs tronçons de la rivière Lorette se sont dégradés depuis 1948. Le segment le plus en aval (50) de la rivière Lorette a été anthropisé avant 1948, ce qui explique en partie son IQM faible depuis ce temps (Tableau 1). À l'intérieur du méandre du tronçon 56, un bassin de rétention d'un affluent a été construit entre 2003 et 2019, potentiellement pour la régularisation des débits, ce qui explique en partie la dégradation de ce segment à travers le temps (Tableau 1). Les segments 57 et de 61 à 65 se sont également dégradés depuis 1948 en raison de la linéarisation de leur tracé et des remblais pour le développement urbain et agricole, engendrant la perte de leur plaine alluviale moderne (Figure 28). Également, le développement urbain dans plusieurs secteurs à l'aval de la rivière limite fortement l'espace pour un corridor de mobilité. Il est également possible de noter une augmentation du nombre de traverses de cours d'eau et de ponceaux à travers le temps. Les segments 58 et 59 semblent avoir gardé un tracé plus naturel. Toutefois, on peut y observer un grand nombre de berges enrochées, de

même que quelques seuils artificiels et un barrage (segment 58) qui altèrent le régime hydrologique des tronçons en aval.

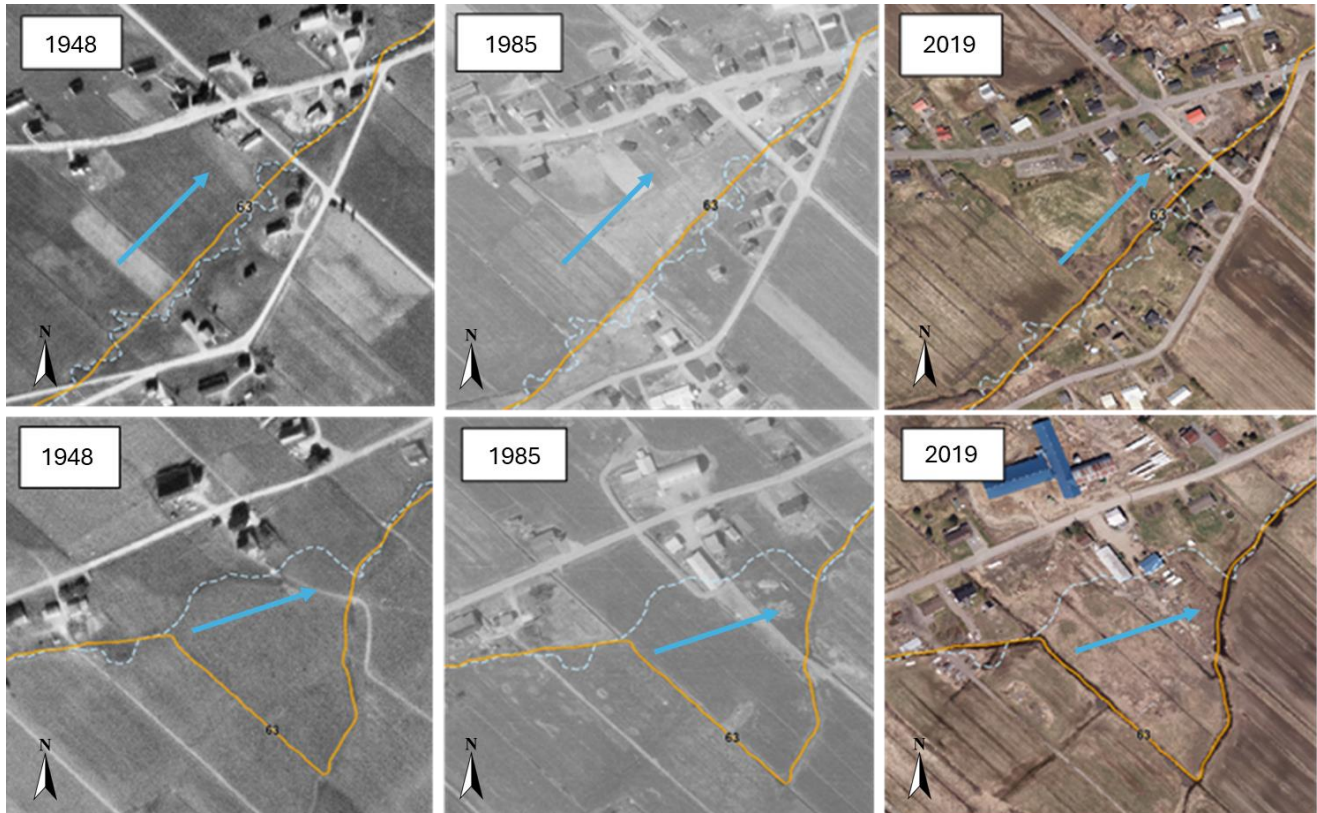


Figure 28 : Évolution d'une section du segment 63 en amont de la rivière Lorette. Il est possible d'observer la linéarisation du segment entre 1948 et 1985 où le cours d'eau a été complètement rectifié. L'absence de bande riveraine végétalisée perdure dans le temps. L'ancien tracé fluvial de 1948 est illustré en ligne pointillée bleue. La couleur des tronçons IQM est associée à la valeur suivante : Orange = Faible. Source : Orthomosaïques 1948, 1985 et 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

En amont de la rivière Lorette, les terres agricoles limitent la présence d'une bande riveraine végétalisée dans plusieurs secteurs encore de nos jours (Figure 28). Les segments 62, 63, 64 et 65 ont été fortement dégradés par l'agriculture (linéarisation des tracés fluviaux) avant 1948, et la linéarisation de plusieurs secteurs s'est poursuivie entre 1948 et 1985 (Figure 28). La bande riveraine de ces tronçons est peu végétalisée et on peut y observer quelques enrochements et plusieurs traverses de cours d'eau. Toutefois, le corridor potentiel d'érodabilité est généralement long et large lorsque peu d'infrastructures sont présentes.

À la lumière de l'analyse de l'évolution de l'IQM dans le haut bassin versant de la rivière Lorette, il est possible d'observer que les principales causes de dégradation des cours d'eau sont la rectification historique des tracés fluviaux pour les pratiques agricoles, la stabilisation des berges par les enrochements et la présence de plusieurs types de barrages. Également, les remblais et le manque de végétation dans les secteurs agricoles contribuent à la perte de la diversité géomorphologique et d'une plaine alluviale saine.

---

## Analyse des sites de restauration potentiels et propositions de projets

Le haut bassin versant de la rivière Lorette a subi plusieurs changements au fil du temps qui ont entraîné des conséquences négatives au plan hydrogéomorphologique (HGM). L'état actuel de plusieurs segments de cours d'eau offre des possibilités de restauration par les processus HGM intéressantes. L'IQM demeure un bon indicateur pour la priorisation des secteurs à restaurer. Parmi plusieurs secteurs dégradés, cinq sites potentiels ont été jugés prioritaires pour la mise en place de projets de restauration. Ces sites ont été sélectionnés en raison de leur état de dégradation, démontré par les faibles valeurs d'IQM, et de leur potentiel quant à la régularisation des débits et des bénéfices sur la santé des écosystèmes riverains. Les projets de restauration proposés ci-dessous sont des exemples qui pourront s'appliquer à d'autres secteurs du bassin versant affichant des caractéristiques similaires.

### Site #1 : Délinéarisation de la Rivière Lorette – Segment 63

Comme beaucoup de cours d'eau en milieu agricole au Québec, une grande part de ceux du haut bassin versant de la rivière Lorette ont été linéarisés dans l'objectif de faciliter les pratiques liées à l'agriculture. En plus de créer des pertes écologiques ainsi qu'une diminution au niveau des services écosystémiques, la linéarisation et l'absence de végétation mature entraînent une réponse hydrologique plus rapide et augmentent ainsi les risques d'inondations à l'aval (Simon et Rinaldi 2006). Une restauration hydrogéomorphologique visant à redonner une sinuosité, une géodiversité et un espace de liberté au cours d'eau serait bénéfique tant sur plan écologique qu'en prévention du risque (Biron *et al.* 2018). Une portion du segment 63 de la rivière Lorette a été sélectionnée à titre indicatif, mais les propositions de restauration peuvent s'appliquer à tous les secteurs présentant des caractéristiques similaires de tronçons linéarisés en milieu agricole dans ce bassin versant. À titre informatif, davantage de segments linéarisés en milieu agricole pouvant bénéficier d'une telle restauration ont été rassemblés dans une entité vectorielle dans la géodatabase qui est fournie avec ce rapport. Toutefois, ce complément n'inclut pas l'ensemble des sites linéarisés pouvant bénéficier d'une délinéarisation.

Le segment 63 de la rivière Lorette suit le Rang des Beaumont ainsi que l'Avenue Notre Dame. Le secteur ciblé à titre d'exemple est situé à proximité du parc de Bélair (Figure 29). Ce segment a été linéarisé entre 1948 et 1965. Aujourd'hui, il est entièrement linéaire, sa bande riveraine est peu végétalisée et sa plaine alluviale a été remblayée (ANNEXE 4). Comme il s'agit d'un des rares secteurs où l'ancien tracé de la rivière est visible sur les orthophotographies historiques en raison de sa linéarisation plus tardive, il permet d'estimer l'amplitude des méandres et de la sinuosité qui caractérisait l'amont de la rivière Lorette avant d'être rectifié.

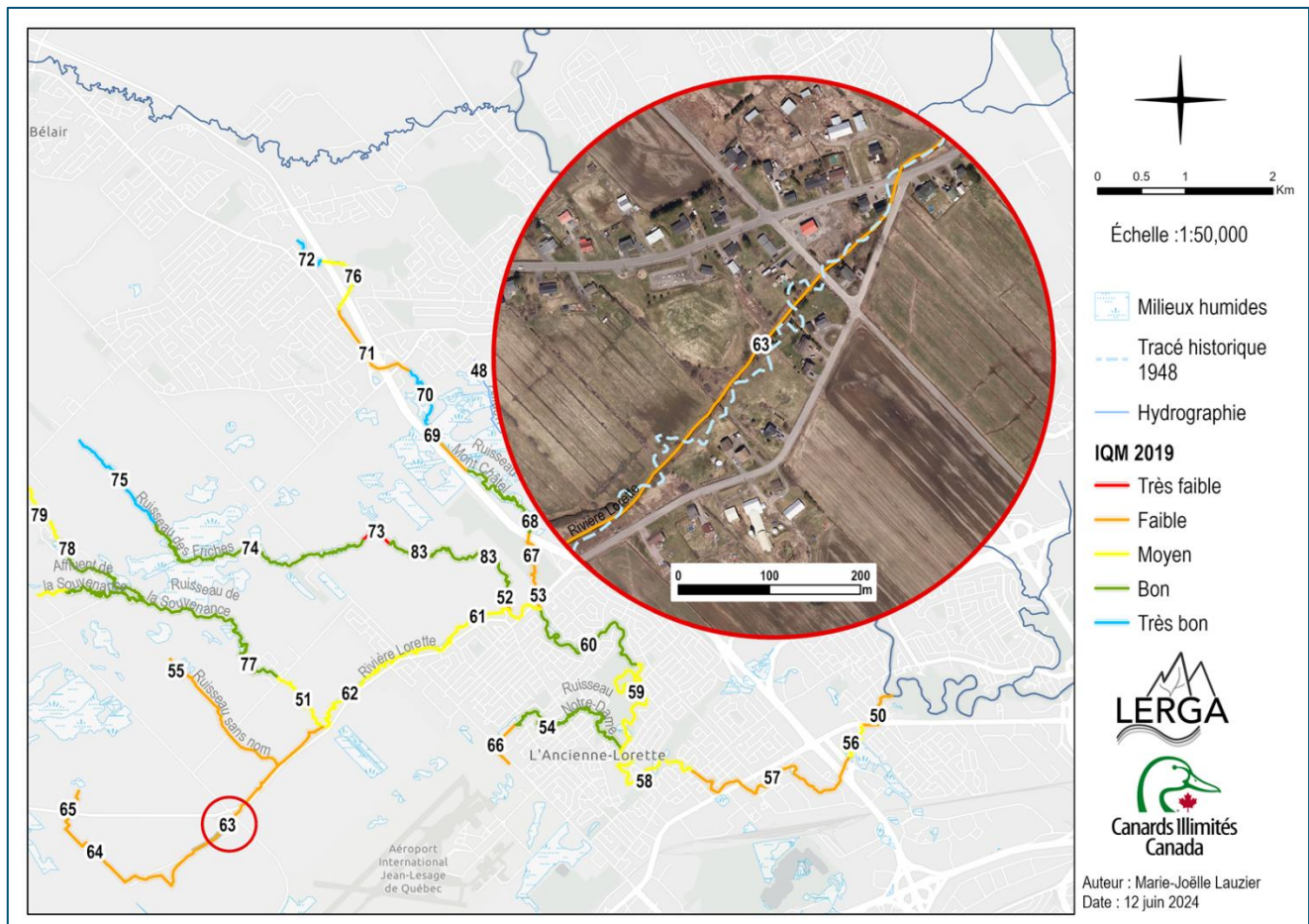


Figure 29 : Localisation du site #1 (segment 63), un secteur linéarisé de la rivière Lorette. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

La détermination d'un espace de liberté pour cette section du segment 63 pourrait figurer comme un point de départ pertinent dans la planification de l'aménagement du territoire afin de laisser l'espace nécessaire au cours d'eau pour que les processus opèrent (érosion des berges, connectivité avec la plaine alluviale) (Figure 30). En ce sens, tous les cours d'eau, même ceux non altérés par les activités humaines, pourraient bénéficier d'un espace de liberté car c'est aussi un outil de planification pour l'aménagement du territoire. L'espace de liberté peut se présenter comme une méthode de restauration passive à l'intérieur de laquelle différents choix peuvent s'offrir, dépendamment des caractéristiques du cours d'eau et du niveau de détérioration. Le haut de la rivière Lorette et le ruisseau Sans Nom, linéarisés et entretenus pour le drainage des activités agricoles, sont des cours d'eau très peu dynamiques où les processus d'érosions sont très peu actifs. Ces caractéristiques montrent qu'une restauration passive, c'est-à-dire en laissant le cours d'eau se restaurer par lui-même en lui offrant un espace de liberté, pourrait se montrer très lente. En ce sens, une combinaison d'actions de restauration semi-passives ou actives, additionnée à l'espace de liberté, pourrait favoriser un retour des processus HGM et des fonctions écologiques plus rapide. La méthode de détermination de l'espace de liberté utilisée dans ce cas-ci est celle proposée par Biron *et al.* (2014), tracée en fonction de l'amplitude des méandres du tracé de 1948. Cette méthode pourrait également s'appliquer aux autres tronçons linéarisés de l'amont de la rivière Lorette et du ruisseau Sans Nom, en utilisant la même amplitude des méandres projetée au segment 63.

Le reméandrage du cours d'eau se présente comme une méthode de restauration intéressante dans le cas d'un cours d'eau linéarisé dénué de plaine alluviale. Étant donné que la reconnexion d'anciens méandres est impossible, une méthode plus active peut être utilisée, telle que de recréer une plaine alluviale et creuser un nouveau chenal inspiré du même niveau de sinuosité qu'il avait avant sa linéarisation. Ce genre d'intervention demande cependant une étude plus approfondie afin de respecter les conditions naturelles de l'écoulement du cours d'eau (variables morphologiques et hydriques). Des méthodes semi-passives pourraient également être appropriées. L'ajout de bois mort utilisé comme déflecteur afin d'orienter l'écoulement, ou utilisé comme embâcle afin de créer des zones de débordement et/ou favoriser une avulsion, contribuerait à la reprise des processus d'érosions et à une plus grande géodiversité. La sinuosité du cours d'eau pourrait alors se recréer d'elle-même, mais ces méthodes demandent davantage de temps. Dans tous les cas, la revégétalisation des berges de ce secteur est importante pour permettre, entre autres, le recrutement de bois mort à long terme. D'ailleurs, elle est fortement recommandée dans les secteurs agricoles ou dans les tronçons dépourvus de végétation mature afin de limiter l'apport de sédiments fins et des contaminants organiques agricoles par exemple.



Figure 30 : Espace de liberté approximatif pour le site de restauration #1 (segment 63) en fonction de l'amplitude des méandres observé sur les orthophotographies de 1948 ainsi qu'en fonction de l'emplacement actuel du cours d'eau. Source : Orthomosaique de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

Le retour d'une sinuosité, de végétation, de bois morts et des processus HGM dans le cours d'eau contribuera à augmenter la rugosité et la connectivité avec la plaine alluviale et ainsi, réduire la réponse hydrologique du secteur. Par ailleurs, l'utilisation d'une partie du parc de Bélair et du terrain de l'autre

côté du chenal pour la création d'un milieu humide, connecté au cours d'eau, pourrait également contribuer à la réduction de la réponse hydrologique par l'augmentation de la capacité de rétention de l'eau. Le terrain face au parc de Bélair est d'ailleurs un endroit potentiel pour ce type de projet étant donné qu'il est déjà inondé en période de crue et qu'il se trouve dans l'ancienne plaine alluviale du cours d'eau. Une analyse approfondie de la topographie du terrain et des niveaux d'eau à différents débits est essentielle pour assurer le succès d'un tel projet sur le long terme.

### Site #2 : Démantèlement de barrages dans le Ruisseau des Friches - Segments 52 et 83

Les segments 52 et 83 sont situés à l'aval du ruisseau des Friches (Figure 31). Le segment 83 est majoritairement boisé et naturel alors que le segment 52 est majoritairement anthropisé et ce, encore de nos jours. Le segment 83 a un IQM de 0.74 (bon). En revanche, celui du segment 52 est toujours faible (0.31), ce qui en fait un des tronçons les plus dégradés du haut bassin versant de la rivière Lorette d'un point de vue hydrogéomorphologique. En effet, la majeure partie de son tracé est enrochée et on ne distingue plus de diversité sur le plan géomorphologique. Par ailleurs, ce segment est toujours impacté par un barrage au fil de l'eau et par des barrages désuets à l'amont de ce dernier, notamment dans le segment 83 (ANNEXE 5).

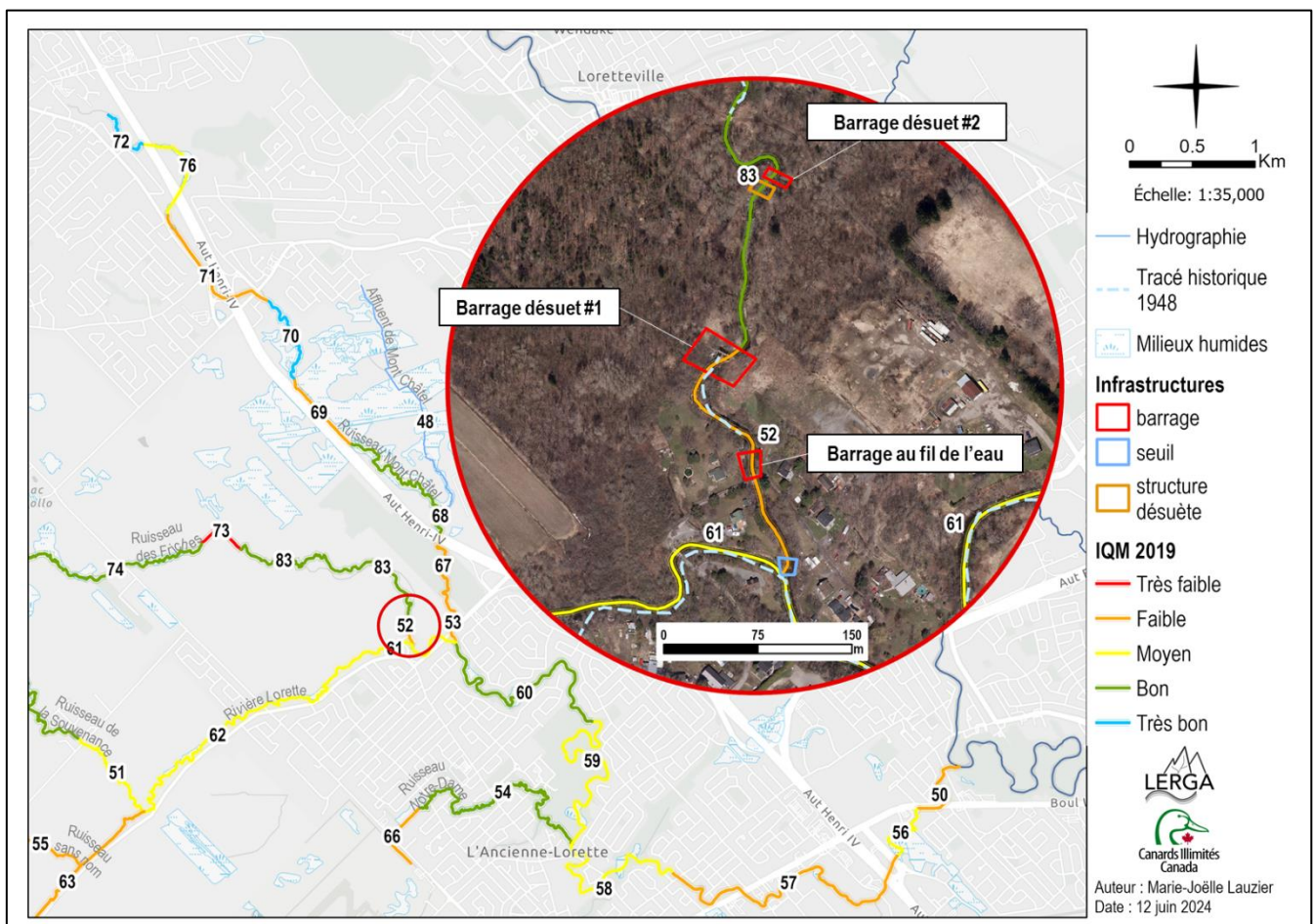


Figure 31 : Localisation du site#2 (segment 52 et 83) du ruisseau des Friches. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

Les deux segments présentés ont été affectés par trois barrages depuis 1948. Le démantèlement de deux de ces barrages a été amorcé après 1985 et a contribué à l'amélioration de l'IQM dans le temps. Cependant, étant donné que ces structures ne sont toujours pas complètement retirées du chenal, cela

contribue à entraver la continuité longitudinale dans le transport sédimentaire et de bois mort. Ainsi, les processus HGM sont altérés ce qui déséquilibre potentiellement le cours d'eau, en plus d'être une barrière pour la connectivité faunique. Le retrait total des structures toujours présentes dans ces deux segments contribuerait à l'augmentation de l'IQM du tronçon 52, donc également à une meilleure connectivité hydrosédimentaire et faunique entre les deux segments.

D'un point de vue hydrologique, le retrait de ces structures pourrait avoir des effets sur l'écoulement à l'aval du ruisseau des Fiches. Le barrage #1 (Figure 22) ralentit l'écoulement par sa structure et par l'accumulation de bois mort qu'il retient, ce qui se trouve favorable pour la diminution de la réponse hydrologique (Figure 32). Le retrait de cette structure pourrait donc modifier la vitesse d'écoulement à cet endroit. Cependant, préserver une structure désuète présente des risques de rupture, ce qui entraînerait des conséquences non souhaitables pour les résidences situées à l'aval. En effet, il a été observé que le barrage désuet #1 (Figure 22) crée une zone de rétention d'eau, de sédiments et de bois mort. Le retrait complet de ce barrage doit considérer ces effets et les potentiels risques et impacts sur les terrains à l'aval du barrage.

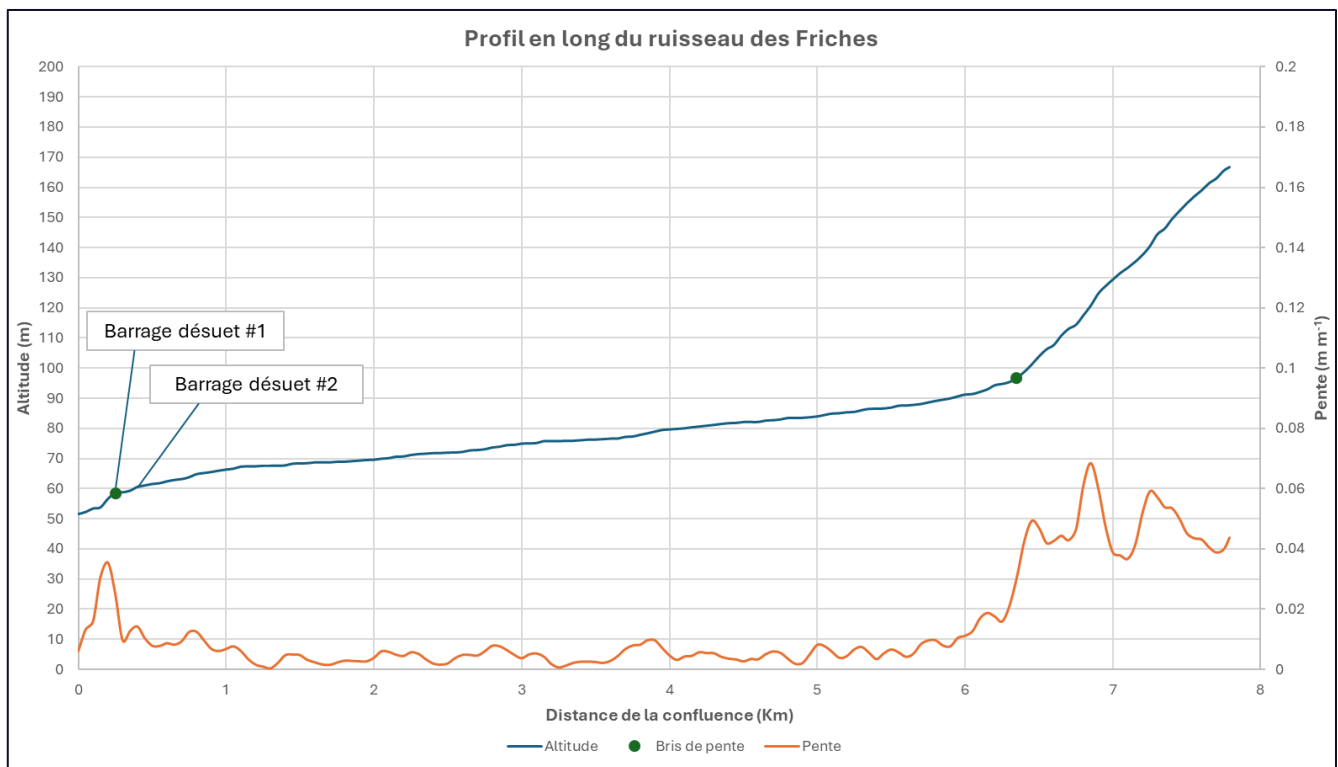


Figure 32 : Profil en long avec bris de pentes du ruisseau des Fiches. La pente moyenne à l'aval du barrage désuet 1 est de  $0.02 \text{ m m}^{-1}$ , alors que la pente moyenne à l'amont de ce barrage et avant la seconde rupture de pente est de  $0.006 \text{ m m}^{-1}$ .

Il a été observé que d'autres structures désuètes sont toujours présentes dans le haut bassin versant de la rivière Lorette et l'exemple des segments 52 et 83 est applicable pour les autres structures répertoriées lors de l'étude (ANNEXE 6). Leur démantèlement complet est également suggéré pour l'amélioration de la qualité morphologique du cours d'eau. À titre d'exemple, le barrage partiellement démantelé de l'aval du ruisseau Mont Châtel présente des caractéristiques très similaires (Figure 33) aux segments 52 et 83 du ruisseau des Fiches. Son démantèlement complet pourrait donc améliorer la connectivité hydrosédimentaire et faunique du cours d'eau. Toutefois, des études spécifiques à la

planification des différents démantèlements de barrages présents dans le bassin versant sont recommandées afin d'évaluer l'impact à l'aval sur le plan hydrosédimentaire.

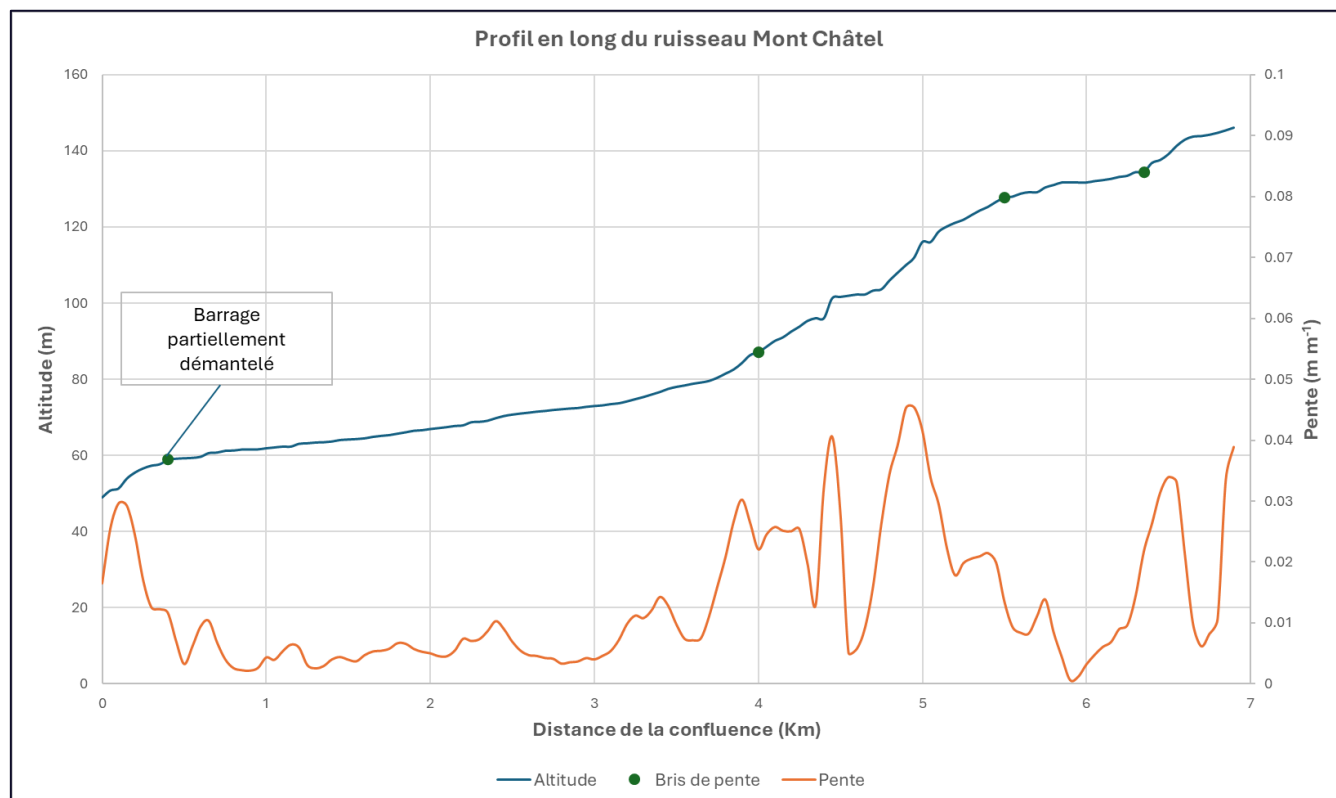


Figure 33 : Profil en long avec bris de pentes du ruisseau Mont Châtel. La pente moyenne à l'aval du barrage partiellement démantelé est de  $0.02 \text{ m m}^{-1}$ , alors que la pente moyenne à l'amont du barrage et avant le second bris de pente est de  $0.005 \text{ m m}^{-1}$ .

### Site #3: Remblais des fossés agricoles dans l'affluent du ruisseau Mont Châtel – Segment 48

L'affluent du ruisseau Mont Châtel est situé à l'est de ce dernier et circule dans d'anciens champs agricoles laissés en friche (Figure 34). Le cours d'eau a fortement été rectifié pour l'agriculture avant 1948. De nos jours, une végétation arbustive et arborescente borde une grande partie du cours d'eau (Figure 35A et B). On peut noter le retour de certains processus HGM et par la présence d'une géodiversité plus élevée (Figure 35C) l'augmentation de la sinuosité du cours d'eau dans le temps est aussi observée (Figure 35D). Le territoire est toutefois morcelé par de multiples fossés agricoles qui semblent aujourd'hui inutilisés. Ces fossés coupent perpendiculairement la majorité du tracé du cours d'eau et se dirigent vers le ruisseau Mont Châtel. Le modèle numérique d'élévation issu du LiDAR permet d'illustrer la situation (Figure 36). Cela a pour effet d'augmenter la réponse hydrologique du ruisseau du Mont Châtel puisque l'écoulement des fossés est directement dirigé vers celui-ci. Dans ce contexte, le remblai des fossés agricoles permettrait de diffuser l'eau drainée par les fossés sur le territoire et de créer des zones de rétention. Le remblai des fossés pourrait être partiel afin de minimiser les interventions sur le territoire et permettrait aux fossés de se combler naturellement de sédiments et de matière organique. Cela aurait pour effet d'aider le rehaussement de la nappe phréatique et alimenterait les milieux humides adjacents, tout en diminuant le drainage vers le ruisseau Mont Châtel.

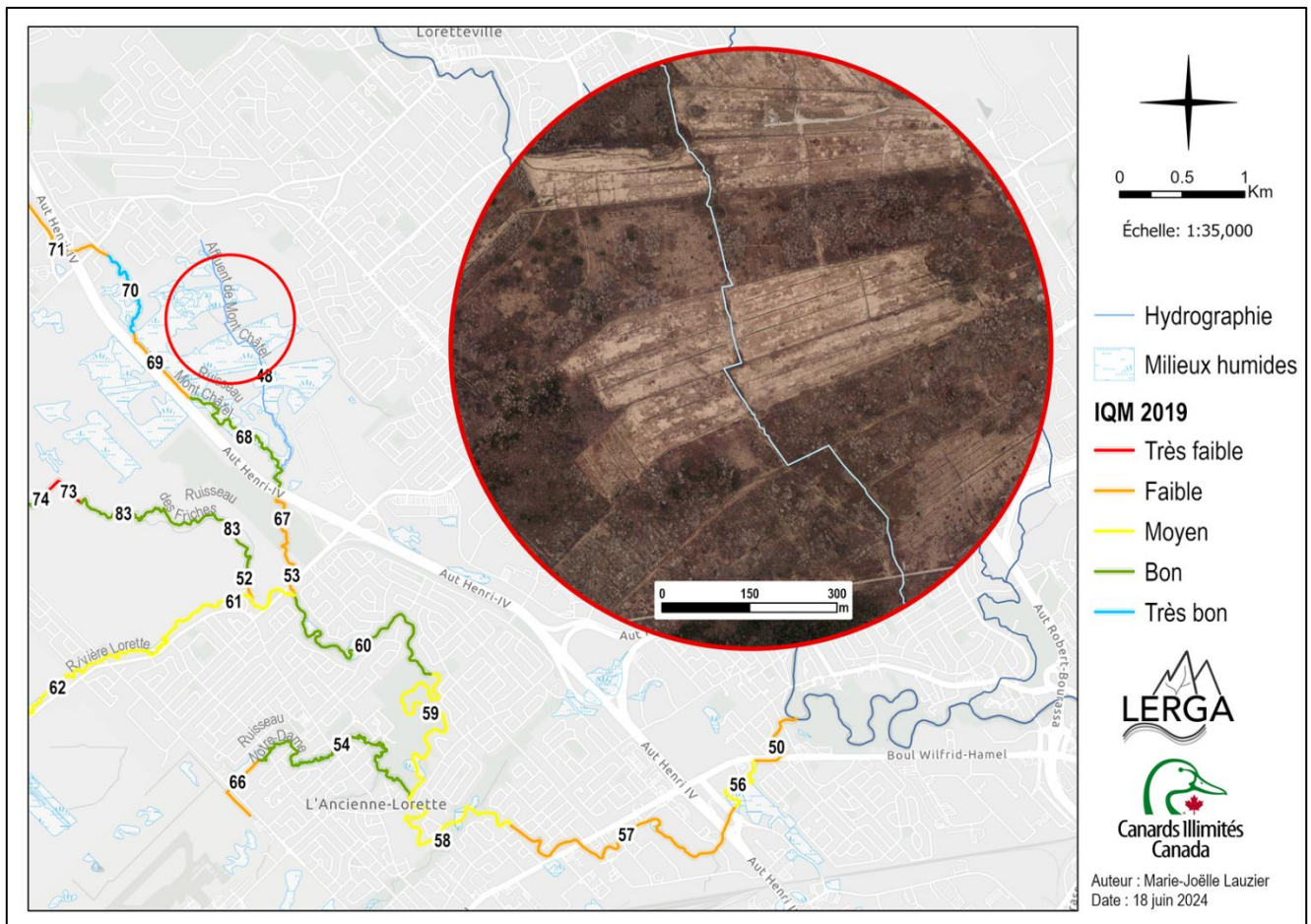


Figure 34 : Localisation du site #3 (segment 48) dans l'affluent du ruisseau Mont Châtel, un secteur linéarisé avec de multiples fossés agricoles. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

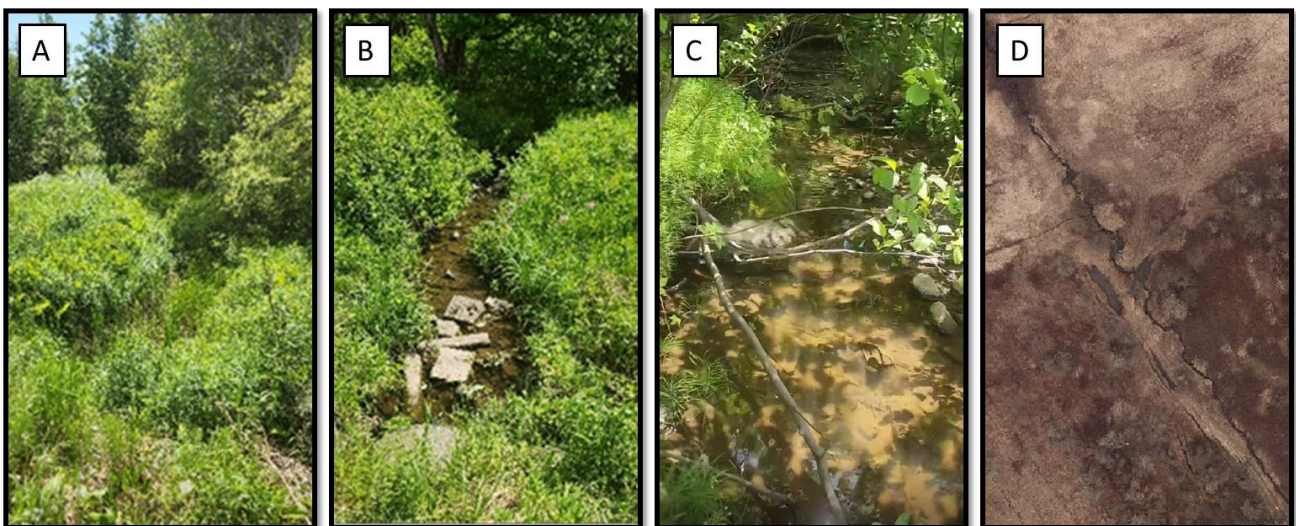


Figure 35 : A) végétation arbustive et arborescente bordant l'affluent du ruisseau Mont Châtel ; B) affluent du ruisseau Mont Châtel dans une friche arbustive ; C) aperçu de l'affluent du ruisseau Mont Châtel montrant la présence de roches et de bois créant la géodiversité ; D) affluent du ruisseau Mont Châtel autrefois linéarisé et retrouvant sa sinuosité.

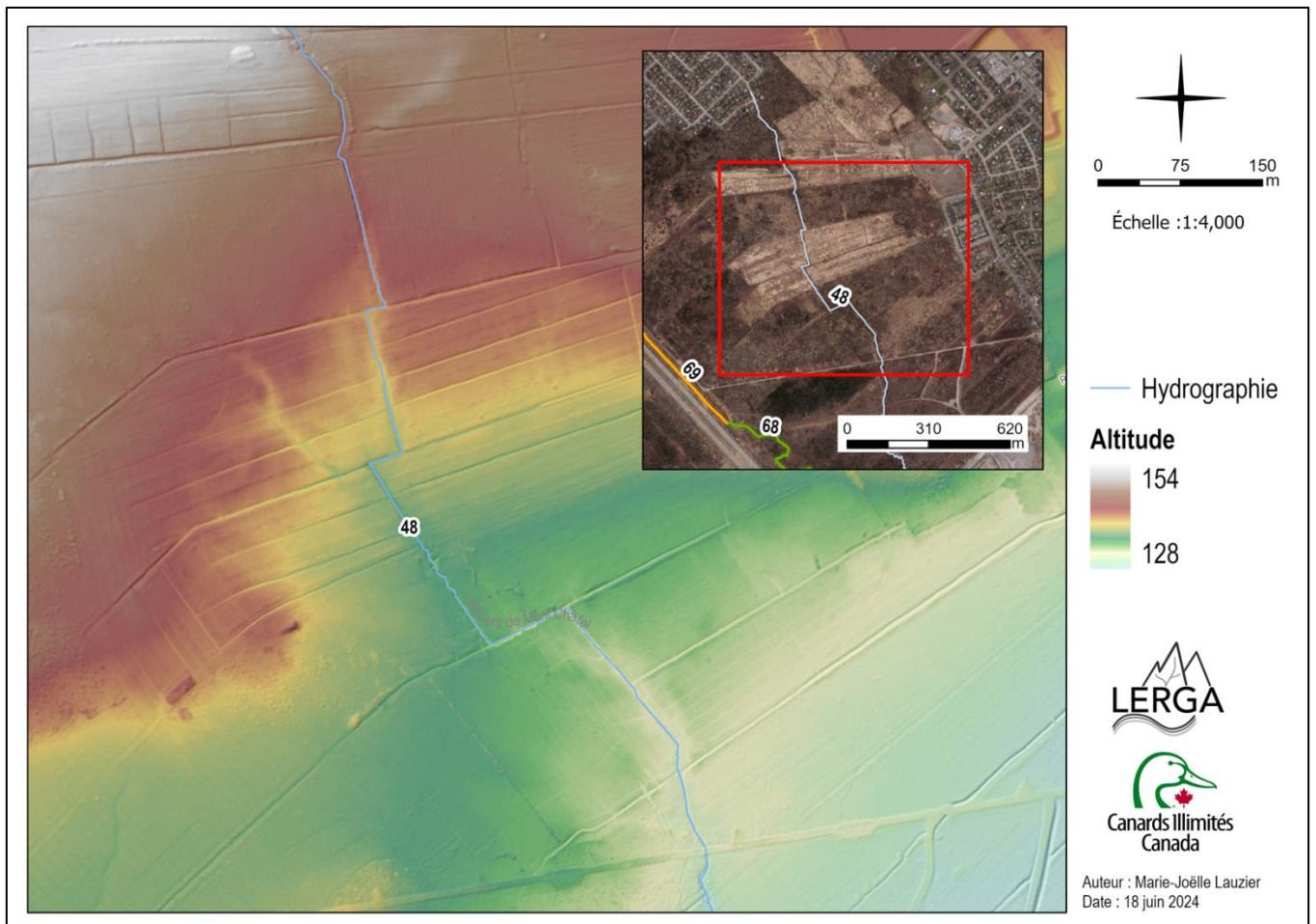


Figure 36 : Modèle numérique d'élévation issu des données LiDAR permettant de voir les multiples fossés agricoles dirigés vers le ruisseau Mont Châtel. Source : MRNF, 2016 et Orthomosaique de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

Le remblai partiel des fossés agricoles inutilisés aiderait à la restauration des débits liquide et solide naturels historiques de l'affluent du Mont Châtel et améliorerait sa connectivité avec la plaine alluviale et la nappe phréatique. Le système fluvial s'ajustera par la suite de lui-même en recréant une diversité de formes géomorphologiques et de milieux humides (Schneider 2020; Hinshaw *et al.* 2022). De plus, le retrait des fossés de drainages favoriserait l'absorption de l'eau de ruissellement par le sol ce qui contribuerait aussi à la diminution de la réponse hydrologique.

Enfin, d'autres initiatives de restaurations par les processus HGM pourraient être combinées au remblai des fossés agricoles dans le but de diminuer la réponse hydrologique. L'insertion de bois mort dans le cours d'eau pourrait, par exemple, favoriser la création de formes en augmentant les processus d'érosion et de déposition des sédiments et ainsi accentuer la sinuosité et la rugosité du chenal. La construction de barrages analogues pourrait également contribuer à la diminution de la réponse hydrologique par la création de zones de rétention de l'eau. Ces zones de rétention, pourraient améliorer la connectivité du cours d'eau avec les milieux humides adjacents et pourraient même créer de nouvelles zones humides.

## Site #4 : Barrages de castor analogues dans le Ruisseau Mont Châtel - Segment 76

Le segment 76 du ruisseau Mont Châtel est situé en amont du cours d'eau et traverse le Parc de Montchâtel, un parc naturel de 16 hectares qui contient plusieurs sentiers de randonnées pédestres utilisés par la population (Figure 37). Selon l'Association forestière des Deux Rives (AF2R), ce parc abrite une diversité écologique et faunique d'intérêt puisqu'il est toujours connecté aux forêts situées dans les massifs forestiers du nord de la région. Il serait possible d'y observer de grands mammifères comme le cerf de Virginie, l'orignal et le porc-épic (AF2R 2024).

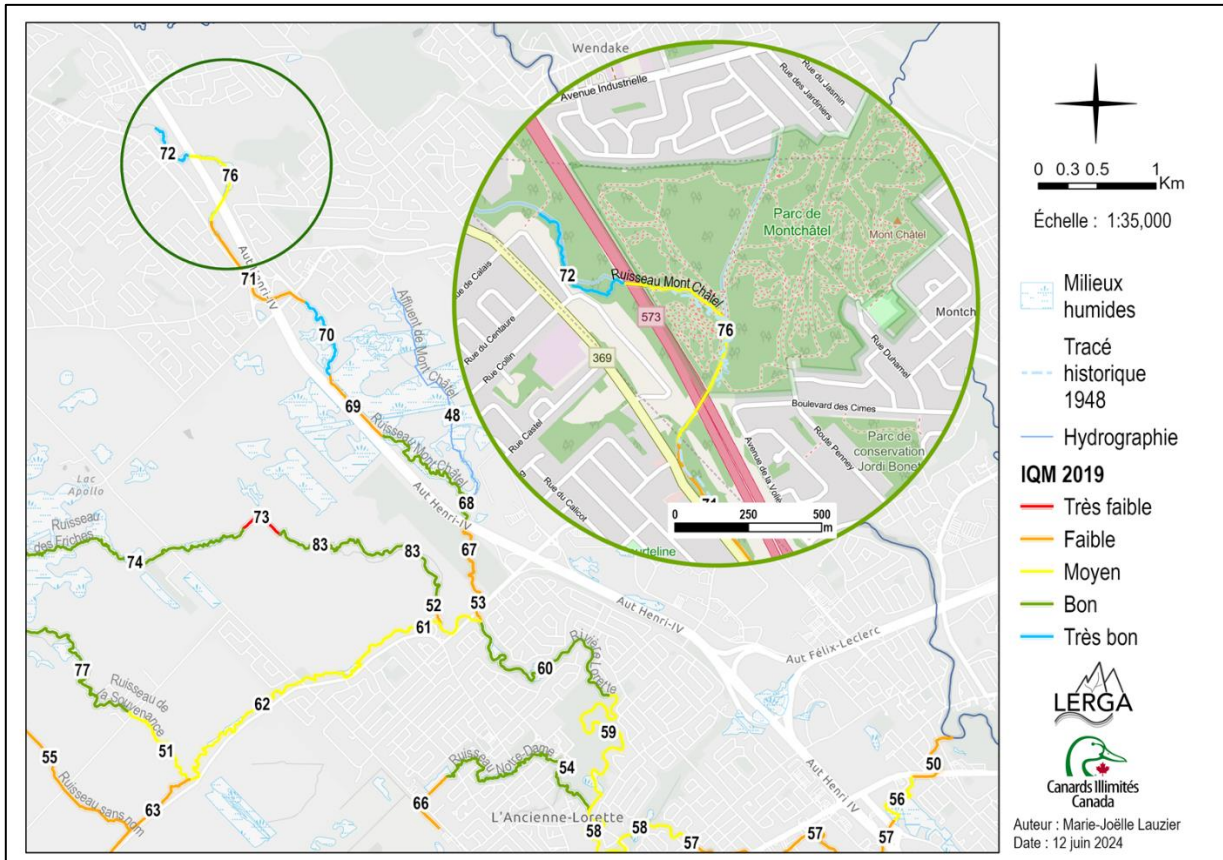


Figure 37 : Localisation du site #4, un secteur linéarisé situé dans le parc Montchâtel et dont le segment retrouve tranquillement ses processus HGM.

L'IQM de ce segment est passé de 0.38 (faible) en 1985 à 0.58 (moyen) en 2019 en raison de la revégétalisation et du retrait des activités humaines dans son environnement. Cela dit, la qualité de ce segment est toujours sous-optimale. Une visite terrain en juin 2024 a confirmé que ce secteur a une bonne couverture de végétation, que des zones humides sont situées à proximité du cours d'eau et qu'il semble avoir recouvert certains processus HGM depuis 1985, comme l'érosion et le recrutement de bois mort (Figure 38).



Figure 38 : Photographies issues de la campagne de terrain de juin 2024 illustrant la présence de bois mort en amont du tronçon 76 du ruisseau Mont Châtel. Il est possible de noter que le cours d'eau reprend tranquillement ses processus naturels.

Toutefois, la linéarisation effectuée autrefois a toujours des effets indésirables sur la qualité du cours d'eau. En effet, le ruisseau semble s'être incisé sur de longs tronçons, ce qui favorise la déconnexion avec sa plaine alluviale (Figure 39 et ANNEXE 7). Une intervention par des méthodes de restauration semi-passives afin de favoriser les processus d'érosion latérale et d'aggradation du lit améliorerait la connexion entre le ruisseau et sa plaine alluviale. Les processus de débordement et d'inondation de la plaine alluviale pourraient, en outre, contribuer à la création de milieux humides. L'installation d'une série de barrages de castor analogues combinée au positionnement stratégique de petits embâcles de bois mort serait des méthodes adaptées à cet environnement.

Les barrages analogues de castor ont prouvé leur efficacité dans des cours d'eau incisés, à faible pente et à faible débit (Scamardo et Wohl 2020), puisqu'ils favorisent l'aggradation du lit et la reconnexion avec la plaine alluviale. La pente moyenne de ce tronçon est de  $0.008\text{m m}^{-1}$ , ce qui est faible et concorde avec un style fluvial sinueux ou à méandres (Rinaldi *et al.* 2016), comme on peut observer sur les orthophotographies historiques (Figure 26).



Figure 39 : Photographies issues de la campagne de terrain de juin 2024 représentant un secteur à l'aval du segment 76 où il est possible de noter l'incision du chenal à cet endroit. Les zones humides sont situées directement à l'est du secteur incisé (ANNEXE 7). Par ailleurs, un tuyau désuet se trouve sur le lit du cours d'eau.

---

Actuellement, ce tronçon affiche toujours un style fluvial linéaire en raison de sa rectification passée. Une série de barrages analogues le long de ce tronçon favoriseraient les débordements lors des crues, l'augmentation de la superficie de milieux humides, la reconnexion avec la plaine alluviale, de même que la rétention de sédiments et le rehaussement du lit du ruisseau, diminuant ainsi la réponse hydrologique en aval (Pollock et Castro 2023). Par ailleurs, il serait possible de combiner cette technique avec le positionnement stratégique de petits embâcles de bois mort pour favoriser la migration latérale du ruisseau afin d'augmenter sa sinuosité. En effet, de petits embâcles positionnés au centre ou sur une des deux rives permettraient de rediriger l'écoulement et d'augmenter à la fois la sinuosité et la rugosité du chenal (Piton et Benaksas 2023).

Étant donnée la proximité d'infrastructures urbaines (routes et ponceaux), certaines considérations sont à prendre en compte avant la mise en place des barrages analogues, telles que la taille des ponceaux en aval du segment, afin d'éviter des blocages en cas de rupture (ANNEXE 8). Bien que ces structures soient faites pour être temporaires, la maintenance des barrages analogues est recommandée (se référer au chapitre 6 du guide de Pollock et Castro (2023)). Par ailleurs, la maintenance demeure encore plus importante s'il y a des risques pour certaines infrastructures, afin de prévenir une rupture durant les débits de pointe. Une préparation avant et durant les installations des barrages est également nécessaire pour s'assurer qu'ils seront bien implantés (se référer au guide de Pollock et Castro (2023)).

Le segment 76 du ruisseau Mont Châtel offre une opportunité de restauration par les processus HGM très intéressante. Étant donné l'espace que procure ce parc et le peu d'infrastructures humaines à proximité (outre les sentiers), il semblerait possible de mettre en place un projet de restauration bénéfique pour l'écosystème riverain et la diversité hydrogéomorphologique du chenal. Enfin, ce type d'installation concorde et peut contribuer à l'objectif de CIC pour une diminution de la réponse hydrologique.

Ce type d'intervention pourrait également s'appliquer à d'autres segments incisés dans le bassin versant de la rivière Lorette, ou encore, qui ont été surcreusés avec l'objectif de drainer les terres agricoles tel que le haut du segment 64. Les barrages analogues de même que les embâcles de bois peuvent favoriser la rétention de sédiments et atténuer la réponse hydrologique. Par contre, ces infrastructures pourraient diminuer l'efficacité du drainage agricole ce qui pourrait provoquer des effets négatifs pour les agriculteurs. Un ajustement de la hauteur et de la porosité du barrage ou de l'embâcle de bois peut constituer une solution qui apportera un gain du côté de la restauration sans nuire à l'agriculteur.

### **Site # 5 : Reconnexion de méandres et chenal à deux niveaux à la confluence du ruisseau de la Souvenance et de la rivière Lorette - Segments 51 et 62**

La confluence du ruisseau de la Souvenance et de la rivière Lorette (segments 51 et 62) offre une possibilité intéressante de contribuer à la réduction de la réponse hydrologique (Figure 40). La plaine alluviale de la rivière Lorette est fortement anthropisée et comme bien des secteurs de l'amont de la rivière Lorette, une partie de la plaine alluviale a été remblayée pour le développement agricole et urbain. Il est également possible de noter certains méandres abandonnés sur le segment 51. Plusieurs projets de restauration sont donc possibles dans ce secteur.

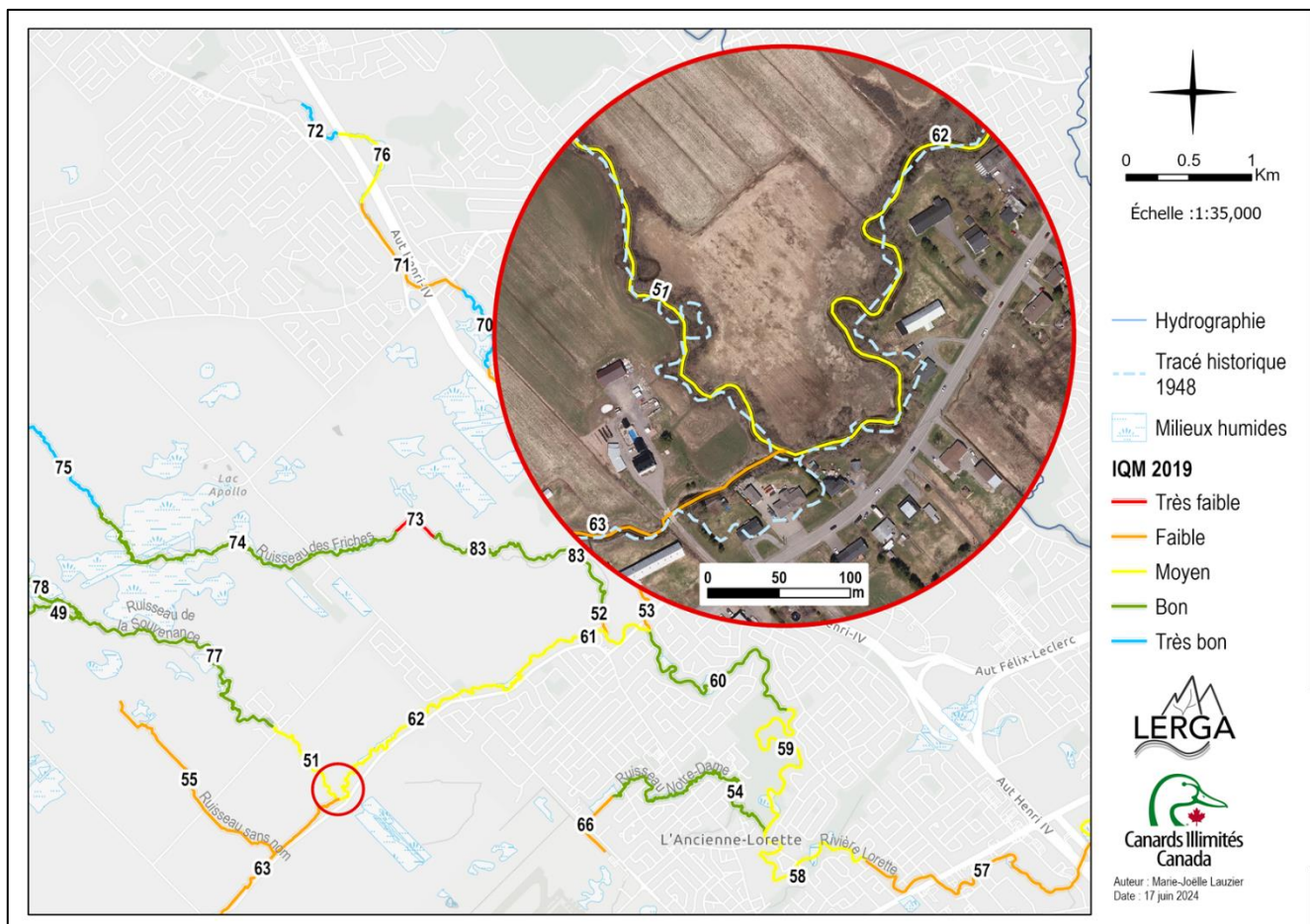


Figure 40 : Localisation du site#5 (segment #51 et #62) à la confluence du ruisseau de la Souvenance et de la rivière Lorette. Source : Orthomosaïque de 2019. Ville de Québec. Service de l'ingénierie. Division de l'arpentage et de la cartographie.

La reconnexion des méandres visibles à l'aval du segment 51 est recommandée. Cela aura pour effet d'augmenter la sinuosité et ainsi de participer à la diminution de la réponse hydrologique vers la rivière Lorette. La revégétalisation des berges serait également bénéfique pour ce secteur et celui du segment 62 de la rivière Lorette. La reconnexion des méandres combinée à la revégétalisation du secteur favoriserait également la diversité biologique et la résilience de l'écosystème.

Par ailleurs, l'élargissement d'une plaine alluviale à l'intérieur du segment 62, dans l'objectif de créer une zone de débordement, pourrait s'avérer approprié par l'entremise de la méthode des chenaux à deux niveaux (Figure 41). Ce type de gestion/restauration peut s'opérer sur l'une ou sur les deux rives du cours d'eau dépendamment de l'espace disponible. Dans le cas du segment 62, la possibilité d'intervention est limitée à la rive gauche du chenal, donc un chenal à deux niveaux sur une seule des deux rives est à envisager.

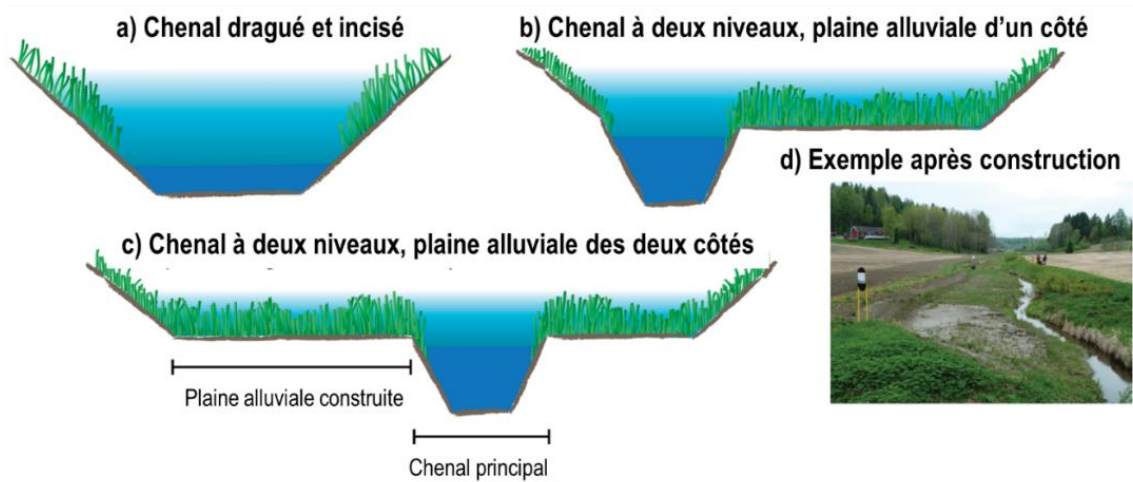


Figure 41 : Coupe transversale d'un chenal à deux niveaux. Les débits sont généralement accélérés en période d'étiage lorsque l'eau circule au premier niveau. En période de crue, les débits ralentissent lorsque l'eau atteint le second niveau grâce à l'élargissement de la plaine alluviale. Source : traduite de Västilä et al. (2021).

Dans un contexte où la restauration des processus HGM complète n'est pas possible en raison du manque d'espace pour un corridor de mobilité, ce type d'intervention est envisageable et pourrait s'appliquer dans les cours d'eau incisés ayant vu leur plaine alluviale remblayée dans le haut bassin versant de la rivière Lorette. L'objectif de restauration est de reproduire la géométrie d'un cours d'eau à faible pente avec une plaine alluviale végétalisée pour retenir et emmagasiner l'eau lorsqu'elle dépasse le niveau plein bord. Cela permet de diminuer la réponse hydrologique lors des crues et ainsi de limiter les risques d'inondation directement à l'aval en plus d'améliorer la diversité de l'écosystème (Västilä et al. 2021). Ce type d'intervention diminue les effets négatifs des chenaux rectifiés conventionnels, comme l'augmentation des débits, la perte de biodiversité ainsi que la dégradation de la qualité de l'eau (Västilä et al. 2021). La création d'une plaine alluviale végétalisée permet également d'améliorer la qualité de l'eau du cours d'eau par la rétention de sédiment en suspension lors des crues. De plus, lorsque l'écoulement accède au deuxième niveau, l'élargissement de la plaine alluviale ralentit les débits. Il est important de noter que davantage d'études sur les impacts à long terme de la qualité morphologique et environnementale ainsi que de la performance des chenaux à deux niveaux demeurent nécessaires. À titre d'exemple, construire un chenal à deux niveaux dans un cours d'eau dominé par des processus de sédimentation pourrait favoriser le drainage agricole s'il est abaissé (Västilä et al. 2021), et pourrait également contribuer à l'augmentation de la réponse hydrologique par l'augmentation de l'efficacité du drainage. Cela pourrait toutefois améliorer la qualité du cours d'eau dans ce segment. De plus, il demeure important d'évaluer les effets potentiels que pourrait avoir ce type d'aménagement sur l'équilibre général du cours d'eau, c'est-à-dire à l'amont et à l'aval du site d'intervention.

## Conclusion

Le haut bassin versant de la rivière Lorette a subi plusieurs transformations au fil des années qui ont affecté ses cours d'eau. Les analyses de l'évolution de l'IQM et de la trajectoire des cours d'eau ont permis de cibler les zones les plus dégradées du bassin versant de même que de comprendre les principales perturbations subies au plan hydrogéomorphologique dans le temps. De manière générale,

---

le développement de l'agriculture est un des principaux facteurs ayant impacté la qualité hydrogéomorphologique du bassin versant en raison de la linéarisation intensive et du remblai des plaines alluviales de plusieurs secteurs. Par ailleurs, la construction de barrages, le retrait de la végétation, la stabilisation des berges et le développement urbain ont aussi impacté la qualité morphologique des cours d'eau et des écosystèmes riverains.

Afin de restaurer les secteurs les plus dégradés, plusieurs actions ont été recommandées en plus d'être associées à des sites où elles pourraient être mises en œuvre. Les propositions du rapport figurent comme des exemples pouvant s'appliquer à d'autres sites du haut bassin versant de la rivière Lorette ayant des caractéristiques similaires. Tout d'abord, la délinéarisation des cours d'eau dans les secteurs agricoles est conseillée où cette approche est possible. Pour se faire, les techniques de reméandrages, l'ajout de bois mort et/ou de barrages analogues de castor, la reconnexion de méandres et l'attribution d'un espace de liberté sont proposés selon les sites qui y sont propices. Par le fait même, la revégétalisation des berges serait très pertinente dans toutes les zones où les berges sont dépourvues de végétation arbustive ou arborescente. Dans le cas de l'affluent du ruisseau Mont Châtel, le remblai des fossés agricoles non-utilisés actuellement a également été proposé alors que pour celui de la confluence entre le ruisseau de la Souvenance et de la rivière Lorette, l'approche par chenal à deux niveaux sur un ou deux côtés serait la plus adaptée. Toutes ces techniques auront non seulement des retombées positives sur l'IQM des segments et sur la qualité des écosystèmes, mais elles auront aussi comme effet de réduire la réponse hydrologique des cours d'eau du bassin versant. Par ailleurs, le démantèlement de barrages désuets dans les ruisseaux des Friches et Mont Châtel a également été conseillé. Ces derniers projets de restauration n'auront pas d'incidence quant à la diminution de la réponse hydrologique, mais ils seraient positifs pour l'amélioration de la qualité morphologique et de la santé des écosystèmes des cours d'eau qui, parfois, est fortement dégradée.

En plus des projets de restauration proposés dans ce rapport, une géodatabase des résultats de l'étude est fournie en complément. Chaque élément de cette géodatabase est également décrit à l'ANNEXE 9. Elle comprend la segmentation de l'ensemble des cours d'eau étudiés du bassin versant de la rivière Lorette, avec la pente et le style fluvial. Elle comprend aussi l'IQM des années 1948, 1985 et 2019 par segment des cours d'eau avec le résultat pour chacun des critères. Les sites de restauration proposés sont inclus dans la géodatabase avec le type de restauration recommandé pour chacun d'entre eux. Davantage d'exemples des sites agricoles linéarisés du bassin versant pouvant aussi bénéficier d'une restauration HGM ont aussi été ajoutés dans la géodatabase. Également, le tracé visible des cours d'eau de 1948 utilisé pour l'analyse de la trajectoire historique y est inclus. Le modèle numérique d'élévation hydrologiquement cohérent de même que le raster ombragé du bassin versant de la rivière Saint-Charles qui ont été utilisés pour l'étude sont fournis. Les orthomosaïques historiques utilisées dans le cadre de l'étude ont été fournies par la Ville de Québec et seront disponibles via une demande de partage des données effectuée à la ville.

Finalement, une restauration par les processus HGM dans un milieu anthropisé comme le haut bassin versant de la rivière Lorette demande une concertation avec le milieu et la participation de toutes les instances concernées. Sans cela, un projet de restauration risque de ne pas fonctionner. De plus, le

---

milieu agricole peut présenter plusieurs défis non seulement au niveau des lois et des règlements, mais également au niveau de l'acceptabilité sociale et des pertes de terres encourues pour les agriculteurs n'ayant toujours pas accès à des programmes compensatoires. Cela dit, la restauration hydrogéomorphologique est un processus à long terme.

Ce document propose des interventions de restauration parfois plus passives et d'autres fois plus actives. Il faut cependant rappeler que l'objectif est de restaurer les processus hydrogéomorphologiques, c'est-à-dire qu'ultimement, le cours d'eau doit être en voie de retrouver son équilibre et de se suffire à lui-même.

---

## Références

- AF2R. 2024. Parc de Montchâtel. Consulté le 11 juin 2024, <https://www.parcsnaturelsquebec.org/quebec/la-haute-saint-charles/secteur-du-parc-de-montchatel/>
- Auerbach DA, Deisenroth DB, McShane RR, McCluney KE et Poff NL. 2014. Beyond the concrete: accounting for ecosystem services from free-flowing rivers. *Ecosystem Services*, 10 : 1-5.
- Bartush NC, Doherty Jr P, Winkelman D et Wohl E. 2020. Using beaver dam analogs to restore riparian ecosystems influenced by large ungulates: a review for the southern Rocky Mountains.
- Bassin versant de la Brèche. 2021. Restauration du méandre Boiteaux. Consulté le 25 avril 2024, <https://www.smbvbreche.fr/projet/restauration-du-meandre-boiteaux>
- Beechie TJ, Sear DA, Olden JD, Pess GR, Buffington JM, Moir H, Roni P et Pollock MM. 2010. Process-based principles for restoring river ecosystems. *BioScience*, 60 : 209-222.
- Biron P, Buffin-Bélanger T, Larocque M, Demers S, Olsen T, Ouellet M-A, Choné G, Cloutier C-A et Needelman M. 2013. Espace de liberté: un cadre de gestion intégrée pour la conservation des cours d'eau dans un contexte de changements climatiques. Ouranos, Montréal, 125 p.
- Biron PM, Buffin - Bélanger T et Massé S. 2018. The need for river management and stream restoration practices to integrate hydrogeomorphology. *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 62 : 288-295.
- Biron PM, Buffin-Bélanger T, Larocque M, Choné G, Cloutier C-A, Ouellet M-A, Demers S, Olsen T, Desjarlais C et Eyquem J. 2014. Freedom space for rivers: a sustainable management approach to enhance river resilience. *Environmental management*, 54 : 1056-1073.
- Cafferata P et Bundros G. 2004. Designing Watercourse Crossings for Passage of 100 Year Flood Flows, Wood, and Sediment. California Department of Forestry and Fire Protection Sacramento, CA, USA, California, 34 p.
- Cenderelli DA, Clarkin K, Gubernick RA et Weinhold M. 2011. Stream simulation for aquatic organism passage at road-stream crossings. *Transportation research record*, 2203 : 36-45.
- Cluer B et Thorne C. 2014. A stream evolution model integrating habitat and ecosystem benefits. *River Research and Applications*, 30 : 135-154.
- Comité expert interministériel en soutien au rétablissement et à la prise de décision en aménagement du territoire (COMEXI-RDG). 2023. Inondation causées par la rivière du Gouffre le 1er mai 2023-Retour d'expérience: portrait conséquence. Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation, Gouvernement du Québec, Québec, 31 p.
- Dauphin K. 2022. Rapport d'avancement, Projet Castor. (ROBVQ) RdodbvdQ, Québec, 46 p.
- Flávio H, Ferreira P, Formigo N et Svendsen JC. 2017. Reconciling agriculture and stream restoration in Europe: A review relating to the EU Water Framework Directive. *Science of the Total Environment*, 596 : 378-395.

---

Florida Atlantic University (FAU). 2018. The Kissimmee river restoration history. Consulté le 25 avril 2024, <https://www.ces.fau.edu/riverwoods/kissimmee.php>

Florsheim JL, Mount JF et Chin A. 2008. Bank erosion as a desirable attribute of rivers. *BioScience*, 58 : 519-529.

Gilvear DJ, Spray CJ et Casas-Mulet R. 2013. River rehabilitation for the delivery of multiple ecosystem services at the river network scale. *Journal of environmental management*, 126 : 30-43.

Gunson KE. 2019. Comparaison du passage de tortues et de serpents dans des ponceaux de drainage le long de deux autoroutes en Amérique du Nord. *Le Naturaliste canadien*, 143 : 81-84.

Hinshaw S, Wohl E, Burnett JD et Wondzell S. 2022. Development of a geomorphic monitoring strategy for stage 0 restoration in the South Fork McKenzie River, Oregon, USA. *Earth Surface Processes and Landforms*, 47 : 1937-1951.

Jamestown S'Klallam Tribe. 2024. Habitat restoration and enhancement. Consulté le 10 avril 2024, <https://jamestowntribe.org/natural-resources/habitat/habitat-restoration-enhancement/>

Johnson MF, Thorne CR, Castro JM, Kondolf GM, Mazzacano CS, Rood SB et Westbrook C. 2020. Biomic river restoration: A new focus for river management. *River Research and Applications*, Vol. 36 : p. 3-12.

Kail J, Hering D, Muhar S, Gerhard M et Preis S. 2007. The use of large wood in stream restoration: experiences from 50 projects in Germany and Austria. *Journal of Applied Ecology*, 44 : 1145-1155.

Kline M et Cahoon B. 2010. Protecting river corridors in Vermont 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 46 : 227-236.

Lehrter RJ, Rutherford TK, Dunham JB, Johnston AN, Wood DJ, Haby TS et Carter SK. 2024. Effects of culverts on habitat connectivity in streams—A science synthesis to inform National Environmental Policy Act analyses. US Geological Survey.

Lemay J, Biron PM, Boivin M, Stämpfli N et Foote K. 2021. Can the Morphological Quality Index (MQI) be used to determine the ecological status of lowland rivers? *Geomorphology*, 395 : 108002.

Lester RE et Boulton AJ. 2008. Rehabilitating agricultural streams in Australia with wood: a review. *Environmental management*, 42 : 310-326.

Malavoi J, Bravard J, Piégay H, Herouin E et Ramez P. 1998. Guide technique N° 2. Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau. Agence de l'eau, p. 39.

Marchand J-P et Marquis G. 2023. Restauration d'un petit cours d'eau en milieu agricole: un méandre à la fois. *Mém'Eau*, 9 : 13-15.

Marcoux-Viel P. 2015. Espace de liberté des cours d'eau: s'inspirer des meilleures pratiques pour définir un cadre de gestion québécois. Mémoire de maîtrise, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 78 p.

---

Massey W, Biron PM et Choné G. 2017. Impacts of river bank stabilization using riprap on fish habitat in two contrasting environments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42 : 635-646.

Massey W, Marchand J-P, Biron P, Buffin-Bélanger T et Larocque M. 2019. Identification of criteria to determine the restoration potential of riparian wetlands in highly degraded agricultural environments: Final Report presented to the Fonds National de Conservation des Milieux Humides (FNCMH). Concordia University, 131 p.

Mayer-Jouanjean I et Bleau N. 2018. Historique des sinistres d'inondations et d'étiages et des conditions météorologiques associées. Ouranos, 100 p.

Nagayama S et Nakamura F. 2010. Fish habitat rehabilitation using wood in the world. *Landscape and Ecological Engineering*, 6 : 289-305.

Nakamura F, Ishiyama N, Sueyoshi M, Negishi JN et Akasaka T. 2014. The significance of meander restoration for the hydrogeomorphology and recovery of wetland organisms in the Kushiro River, a lowland river in Japan. *Restoration ecology*, 22 : 544-554.

Nelson A. 2019. Wood as a tool in stream and river restoration. *Leaf Litter* 17.

Neuhaus V et Mende M. 2021. Engineered large wood structures in stream restoration projects in Switzerland: Practice-based experiences. *Water*, 13 : 2520.

Newson M, Clark M, Sear D et Brookes A. 1998. The geomorphological basis for classifying rivers. *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 8 : 415-430.

Nooksack Salmon Enhancement Association (NSEA). Restoration. Consulté le 9 avril 2024, <https://www.n-sea.org/restoration>

NorthStar. 2010. kissimee river restoration-13B. Consulté le 25 avril 2024, <https://www.northstar.com/portfolio/kissimmee-river-restoration-13b/>

Ollero A. 2010. Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain. *Geomorphology*, 117 : 247-260.

Orr MR, Weber NP, Noone WN, Mooney MG, Oakes TM et Broughton HM. 2020. Short-Term Stream and Riparian Responses to Beaver Dam Analogs on a Low-Gradient Channel Lacking Woody Riparian Vegetation. *Northwest Science*, 93 : 171-184.

Palmer MA, Lettenmaier DP, Poff NL, Postel SL, Richter B et Warner R. 2009. Climate change and river ecosystems: protection and adaptation options. *Environmental management*, 44 : 1053-1068.

Pêche et Océan Canada. 2016. Lignes directrices pour les traversées du cours d'eau au Québec. 73 p.

Pêche et Océan Canada. 2023 (mis à jour le 08-06-2023). Pratiques exemplaires de gestion pour la protection de l'habitat des poissons d'eau douce à Terre-Nerve-et-Labrador. Consulté le 12 avril 2024,

---

<https://www.dfo-mpo.gc.ca/pnw-ppe/ffhpp-ppph/publications/nfl-freshwater-protection-eau-douce-tnl-fra.html# Toc112847555>

Piégay H, Darby S, Mosselman E et Surian N. 2005. A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion. *River Research and Applications*, 21 : 773-789.

Pirolley A et Bergeron N. 2020. Franchissement piscicole dans les ponceaux: ouvrages à simulation de cours d'eau et conceptions ichtyocompatibles.

Piton G et Benaksas S. 2023. Action Embâcle: sources, risques et mesures associés. Outils et recommandations. Tâche 1: Notes grand public sur le bois flottant.

Pollock MM, Beechie TJ et Jordan CE. 2007. Geomorphic changes upstream of beaver dams in Bridge Creek, an incised stream channel in the interior Columbia River basin, eastern Oregon. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32 : 1174-1185.

Pollock MMGM, Lewallen; K., Woodruff; C.E., Jordan and J.M. et Castro. 2023. *The Beaver Restoration Guidebook : Working with Beaver to Restore Streams, Wetlands, and Floodplains, Version 2.02*. United States Fish and Wildlife Service : 219.

Polvi LE et Wohl E. 2012. The beaver meadow complex revisited - the role of beavers in post-glacial floodplain development. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37 : 332-346.

regroupement des organismes de bassins versants du Québec (ROBVQ). 2015 (mis à jour le 2015). Une bonne pratique sur Répert'eau: Libre-passage du poisson dans les infrastructures routières. Consulté le 15 avril 2024, <https://reperteau.info/bonnespratiques/details/325>

Regroupement des organismes de bassins versants du Québec (ROBVQ). 2023. *Projet Castor*. Consulté le 22 avril 2024, <https://robvq.gc.ca/projet-castor/>

Rinaldi M, Surian N, Comiti F et Bussettini M. 2013. A method for the assessment and analysis of the hydromorphological condition of Italian streams: The Morphological Quality Index (MQI). *Geomorphology*, 180 : 96-108.

Rinaldi M, Surian N, Comiti F, Bussettini M, Belletti B, Nardi L, Lastoria B et Golfieri B. 2016. *Guidebook for the Evaluation of Stream Morphological Conditions by the Morphological Quality Index (MQI)*. .

Roni P et Quinn TP. 2001. Density and size of juvenile salmonids in response to placement of large woody debris in western Oregon and Washington streams. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 58 : 282-292.

Scamardo J et Wohl E. 2020. Sediment storage and shallow groundwater response to beaver dam analogues in the Colorado Front Range, USA. *River Research and Applications*, 36 : 398-409.

Schneider CW. 2020. *An investigation of Stage 0 restoration in California and Oregon*. Master, Oregon State University, Oregon, USA, 31 p.

---

Simon A et Rinaldi M. 2006. Disturbance, stream incision, and channel evolution: The roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response. *Geomorphology*, 79 : 361-383.

Skidmore P et Wheaton J. 2022. Riverscapes as natural infrastructure: Meeting challenges of climate adaptation and ecosystem restoration. *Anthropocene*, 38 : 100334.

Västilä K, Väisänen S, Koskiaho J, Lehtoranta V, Karttunen K, Kuussaari M, Järvelä J et Koikkalainen K. 2021. Agricultural water management using two-stage channels: Performance and policy recommendations based on Northern European experiences. *Sustainability*, 13 : 9349.

Wade J, Lautz L, Kelleher C, Vidon P, Davis J, Beltran J et Pearce C. 2020. Beaver dam analogues drive heterogeneous groundwater–surface water interactions. *Hydrological Processes*, 34 : 5340-5353.

Wheaton J, Bennett S, Bouwes N, Maestas J et Shahverdian S. 2019. Low-tech process-based restoration of riverscapes: design manual version 1.0. Utah State University Restoration Consortium, Logan, UT, USA, 286 p.

Wilhere GF, Atha JB, Quinn T, Tohver I et Helbrecht L. 2017. Incorporating climate change into culvert design in Washington State, USA. *Ecological Engineering*, 104 : 67-79.

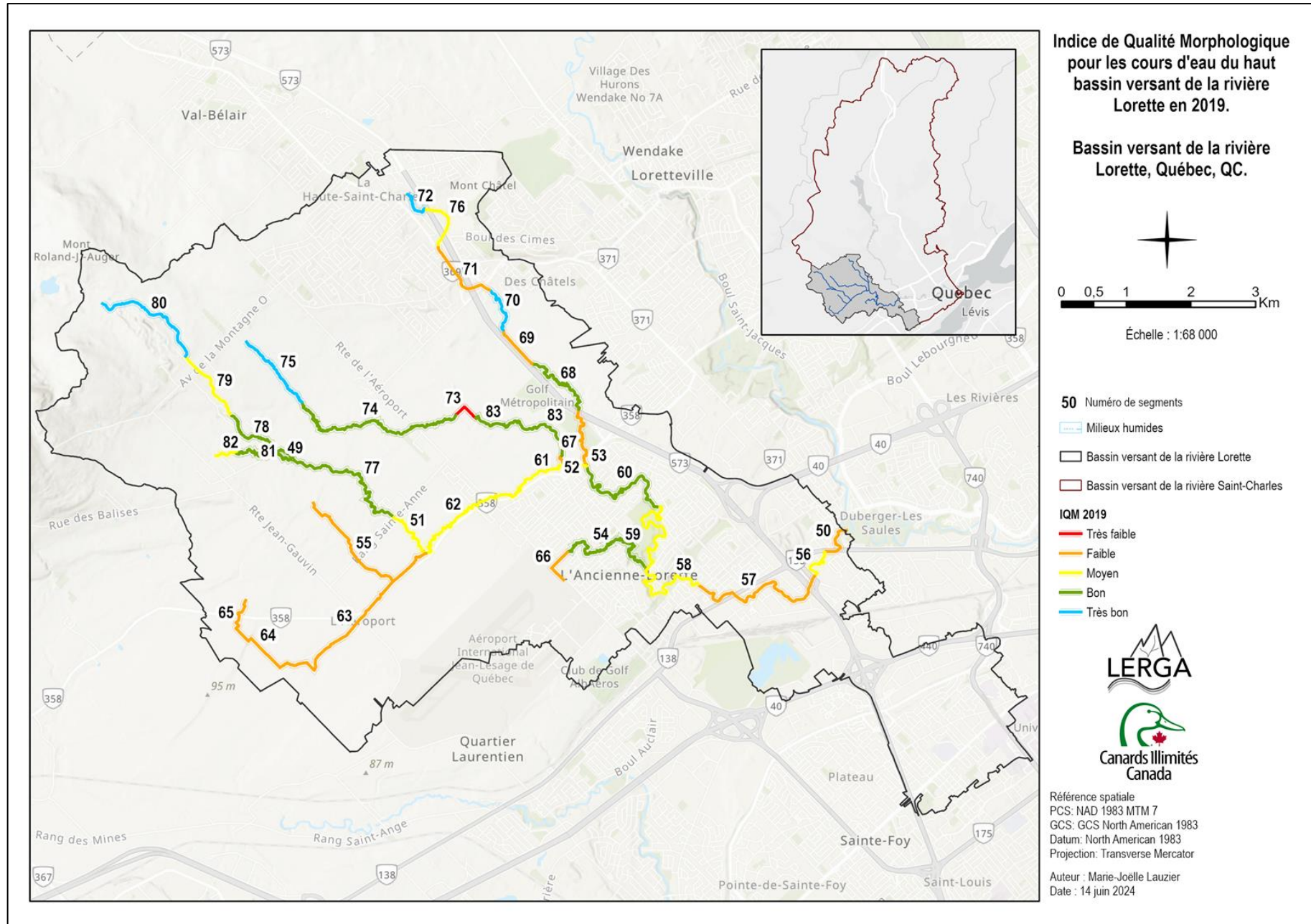
Wohl E. 2017. Connectivity in rivers. *Progress in Physical Geography*, 41 : 345-362.

Wohl E, Lane SN et Wilcox AC. 2015. The science and practice of river restoration. *Water Resources Research*, 51 : 5974-5997.

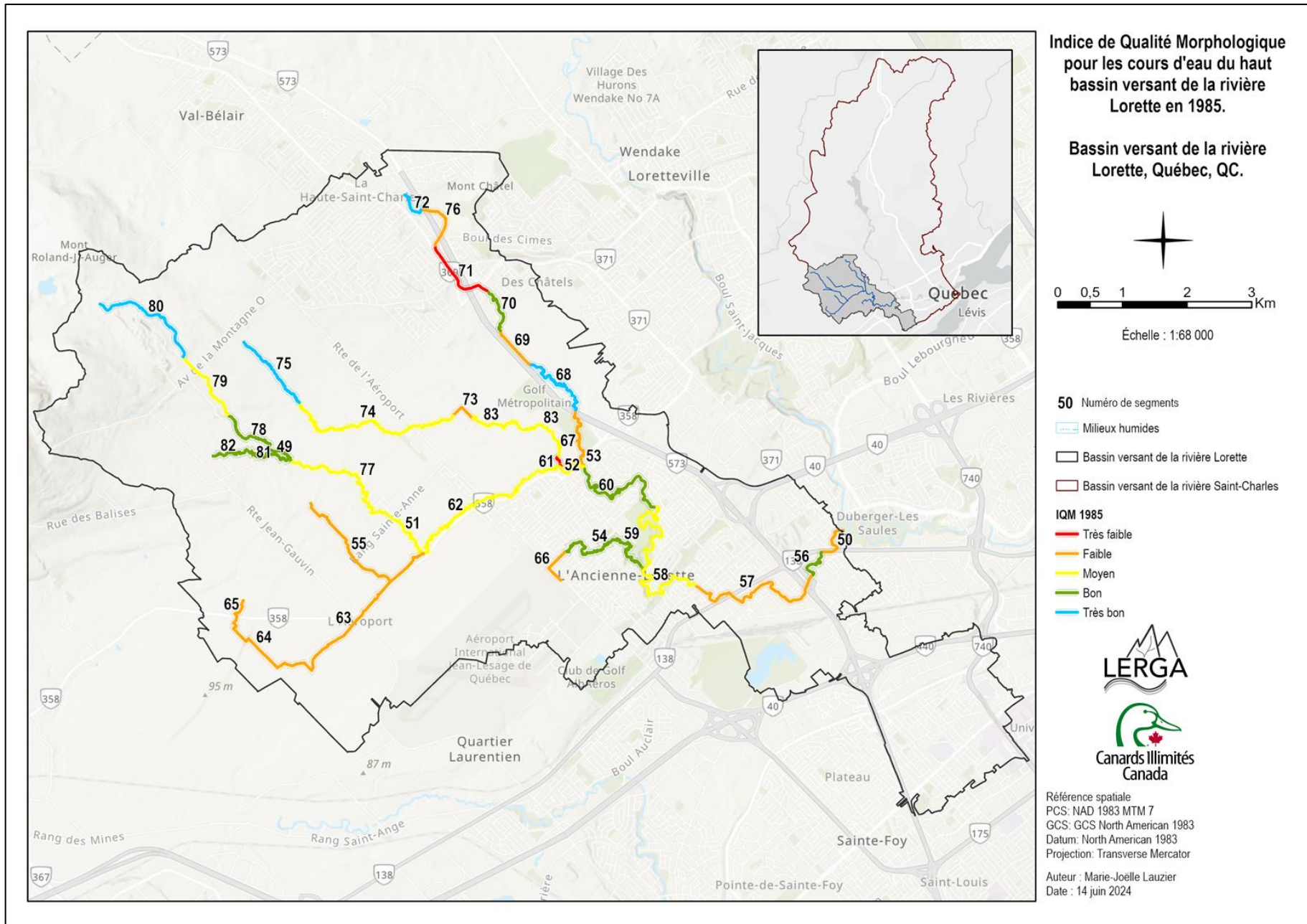
Wohl E, Angermeier PL, Bledsoe B, Kondolf GM, MacDonnell L, Merritt DM, Palmer MA, Poff NL et Tarboton D. 2005. River restoration. *Water Resources Research*, 41 : 12.

## ANNEXES

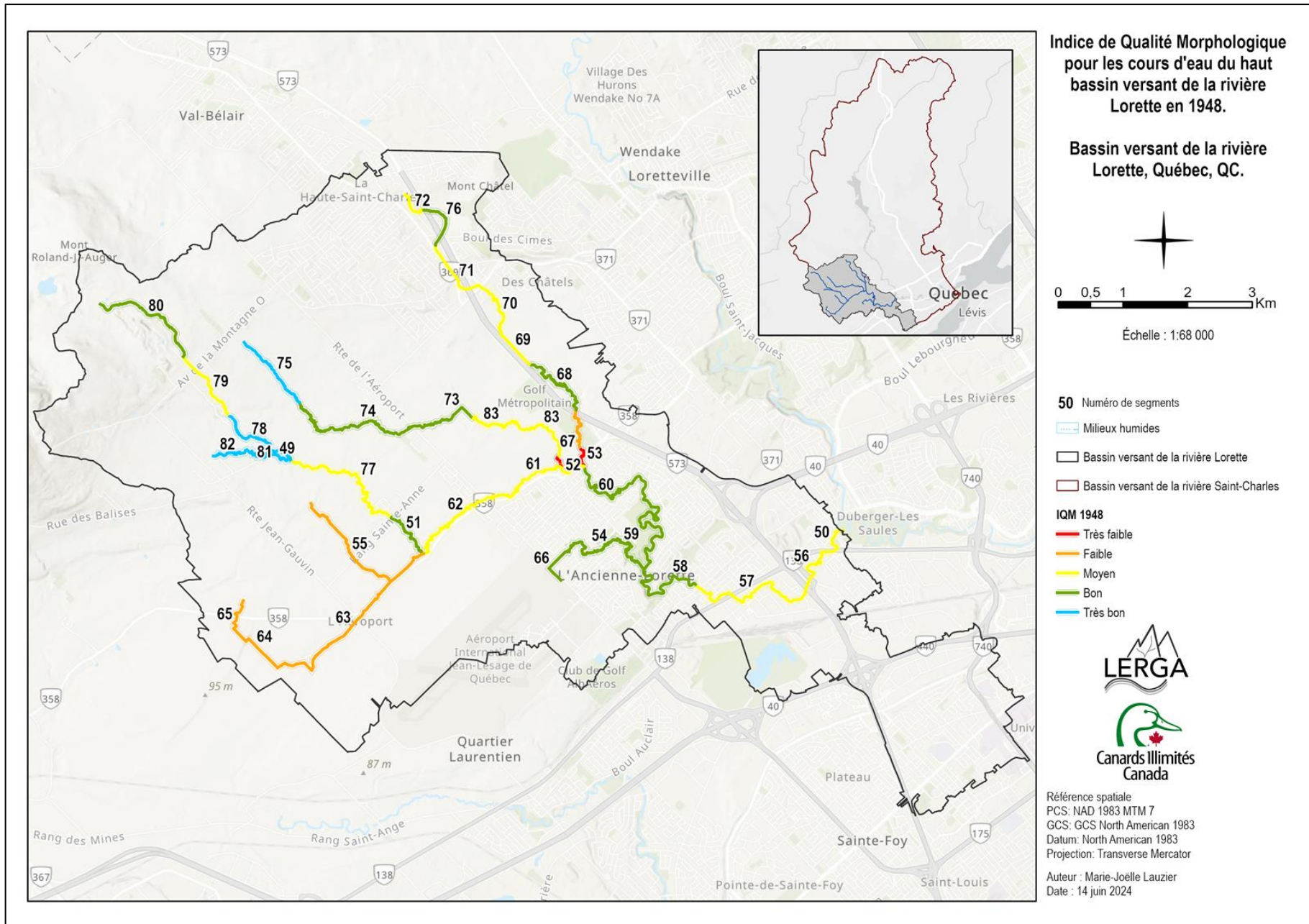
## ANNEXE 1



## ANNEXE 2



### ANNEXE 3



## ANNEXE 4

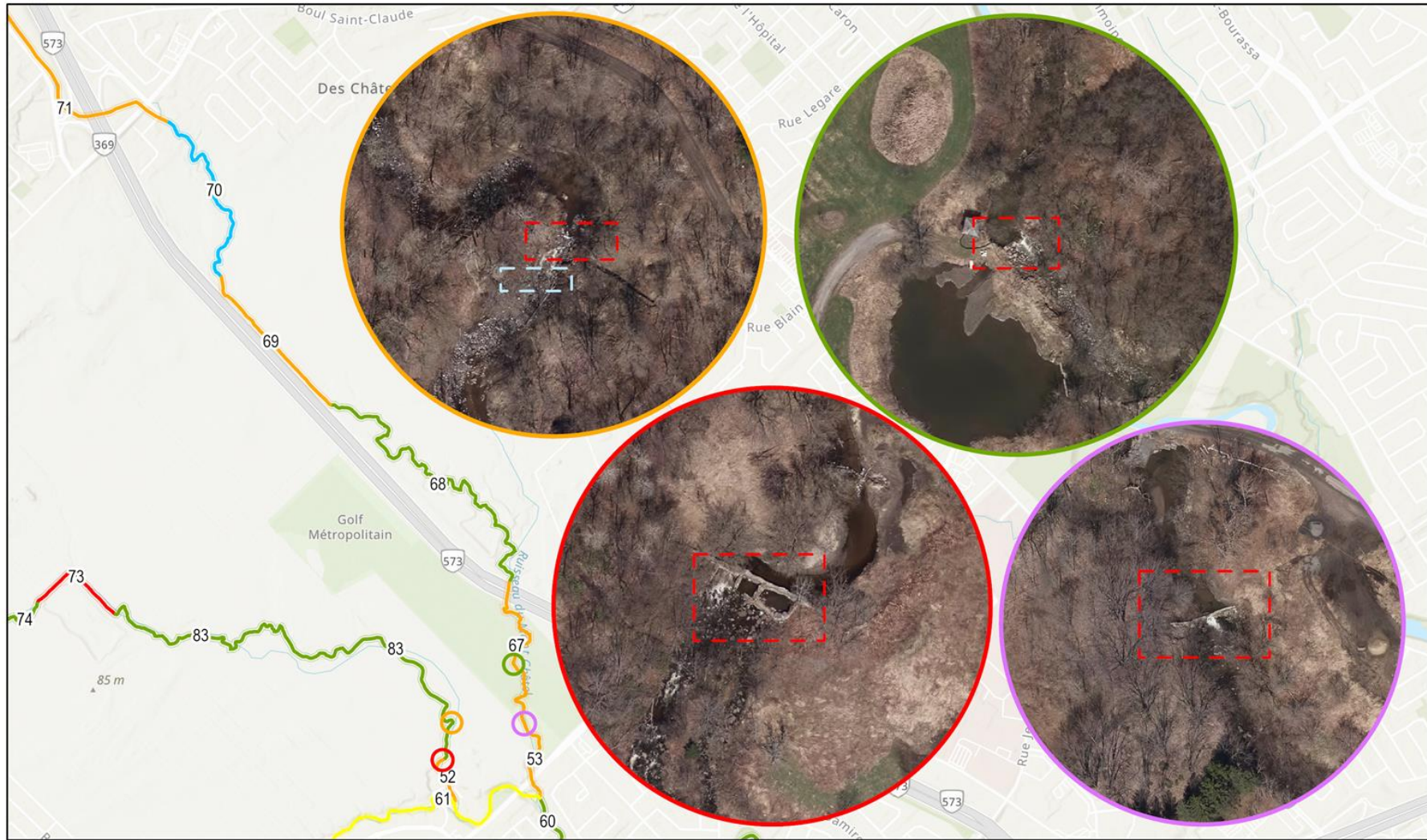


## ANNEXE 5

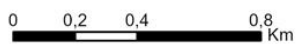


## ANNEXE 6

Ensemble des barrages et structure qui semblent désuets dans le haut bassin versant de la rivière Lorette.



Échelle: 1:20 000



### IQM

- Très faible
- Faible
- Moyen
- Bon
- Très bon

- Barrages désuets
- Structure désuète

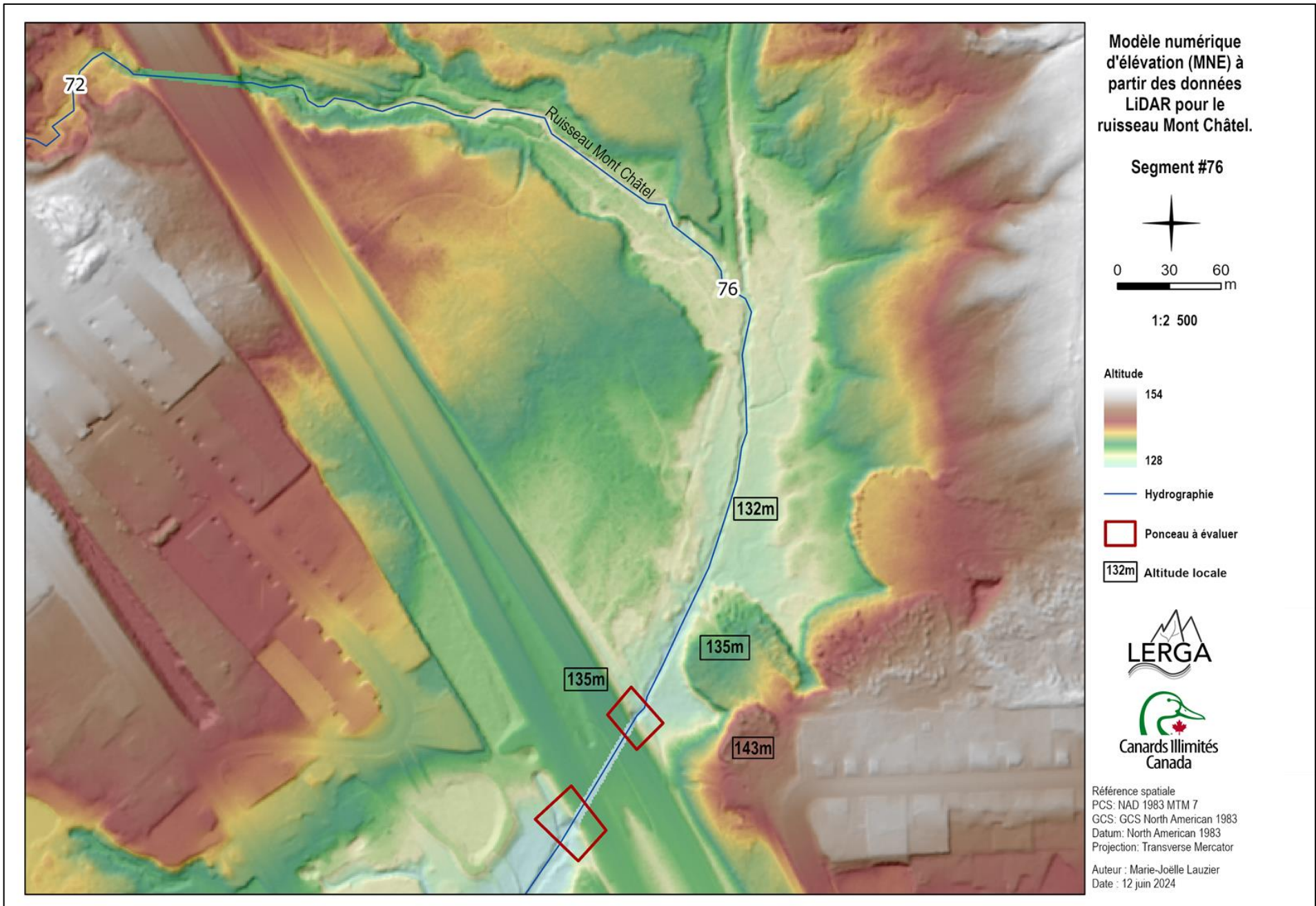


Référence spatiale  
 PCS: NAD 1983 MTM 7  
 GCS: GCS North American 1983  
 Datum: North American 1983  
 Projection: Transverse Mercator  
 Auteur : Marie-Joëlle Lauzier  
 Date : 17 juin 2024

## ANNEXE 7



## ANNEXE 8



## ANNEXE 9

### Descriptif de la géodatabase fournie

- ☐ RestaurationHGM\_Lorette.gdb : Nom de la géodatabase
- ☐ Hydro : Classe d'entités regroupant des données hydrographiques.
  - ☐ Barrages\_CEHQ : Entités vectorielles (points) des barrages issus de la banque de données du CEHQ.
  - ☐ Bassin\_versant\_Lorette : Entités vectorielles (polygones) du bassin versant de la rivière Lorette.
  - ☐ Bassin\_versant\_StCharles : Entités vectorielles (polygones) du bassin versant de la rivière Saint-Charles.
  - ☐ Milieux\_humides\_2022 : Entités vectorielles (polygones) des milieux humides répertoriés en 2022 par Canards Illimités Canada.
- ☐ IQM\_BV\_Lorette : Classe d'entités regroupant les résultats de l'IQM pour 1948, 1985 et 2019.
  - ☐ IQM\_1948 : Entités vectorielles (linéaires) de l'IQM historique de 1948 pour chaque segment du haut bassin versant de la rivière Lorette.
  - ☐ IQM\_1985 : Entités vectorielles (linéaires) de l'IQM historique de 1985 pour chaque segment du haut bassin versant de la rivière Lorette.
  - ☐ IQM\_2019 : Entités vectorielles (linéaires) de l'IQM de 2019 pour chaque segment du haut bassin versant de la rivière Lorette.
- ☐ Segmentation : Classe d'entités regroupant les données de segmentations des cours d'eau du haut bassin versant de la rivière Lorette.
  - ☐ Segments\_bvLorette : Entités vectorielles (linéaires) hydrologiquement cohérente représentant la segmentation des cours d'eau à l'étude dans le haut bassin versant de la rivière Lorette.
- ☐ Sites\_Restauration\_HGM : Classe d'entités regroupant les différentes propositions de sites de restauration HGM du mandat.
  - ☐ Espace\_liberte\_approximatif : Entité vectorielle (polygone) de l'espace de liberté approximatif du site de restauration # 1 calculé en fonction de l'amplitude des méandres du tracé de 1948.
  - ☐ Sites\_Lineaires\_RestaurationHGM : Entités vectorielles (polygones) d'autres sites linéarisés agricoles du bassin versant pouvant bénéficier d'une délinéarisation au même titre que l'exemple du site de restauration #1.
  - ☐ Sites\_RestaurationHGM\_Lerga : Entités vectorielles (polygones) des sites de restauration potentiels proposés dans le cadre d'étude avec le type de projet associé dans la table attributaire.
- ☐ Trajectoire\_historique : Classe d'entités regroupant les tracés des cours d'eau pour l'année 1948.
  - ☐ Trajectoire\_1948 : Entités vectorielles (linéaires) du tracé des cours d'eau à l'étude en 1948.

---

## ANNEXE 9 (Suite)

- 🌐 mnt : donnée raster au 1 mètre du modèle numérique de terrain (MNT) issu du MRNF et corrigé au LERGA afin d'être hydrologiquement cohérent.
- 🌐 ombrage : donnée raster de l'ombrage modèle numérique de terrain issu du MRNF.