

Dynamiques hydrogéomorphologiques historiques et actuelles d'une rivière perturbée par les activités de la drave et analyse des impacts d'un démantèlement de barrage

Marianne Bouchard^{1,2} | Maxime Boivin^{1,2} 

¹Laboratoire d'expertise et de recherche en géographie appliquée (LERGA), Université du Québec à Chicoutimi, Québec, Canada

²Chaire de recherche sur les espèces aquatiques exploitées (CREAE), Université du Québec à Chicoutimi, Québec, Canada

Correspondence to / Adresse de correspondance

Maxime Boivin, Département des sciences humaines et sociales, UQAC, 555 boulevard de l'Université, Saguenay, Québec, Canada, G7H 2B1.
Email/Courriel: maxime2_boivin@uqac.ca

Funding information

Fondation Pour La Conservation Du Saumon Atlantique; Fondation de la faune du Québec (FFQ); Mitacs, Grant/Award Number: IT18858

Résumé

Au Québec, la dynamique fluviale de la rivière des Escoumins a été perturbée par l'industrie forestière pendant plus d'un siècle. Un barrage a notamment été construit près de l'embouchure en 1846, puis démantelé en 2013. Ces perturbations ont entraîné des répercussions importantes sur l'équilibre du cours d'eau et sur l'habitat du saumon atlantique. Cette étude propose donc de caractériser la dynamique fluviale de la rivière des Escoumins et d'analyser les impacts du démantèlement du barrage dans une perspective de restauration des processus hydrogéomorphologiques et d'amélioration de l'habitat du saumon atlantique. Les résultats suggèrent que la trajectoire de la rivière a évolué différemment en fonction du style fluvial et de la composition granulométrique de chacun de ses segments homogènes. Toutefois, ce sont les activités de la drave et le démantèlement du barrage qui semblent avoir été les facteurs de contrôle les plus importants sur l'évolution de la trajectoire du cours d'eau. Le démantèlement a notamment permis la restauration de processus hydrogéomorphologiques et la libre circulation des salmonidés. Une meilleure procédure entourant le démantèlement des barrages et leur suivi devrait donc être mise en place au Canada afin de favoriser cette pratique.

MOTS CLÉS

barrage, démantèlement, processus hydrogéomorphologiques, Rivière perturbée

Abstract

In Quebec, the fluvial dynamics of the Escoumins River have been disturbed by the forestry industry for over a century. Most specifically, a dam was built near the mouth of the river in 1846 and dismantled in 2013. These disturbances had significant repercussions on the equilibrium of the river and Atlantic salmon habitat. This study therefore proposes to characterize the fluvial dynamics of the Escoumins River and to analyze the impacts of the dam dismantling from the perspective of restoring hydrogeomorphological processes and improving Atlantic salmon habitat. The results

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs License, which permits use and distribution in any medium, provided the original work is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

© 2023 The Authors. *The Canadian Geographer* / *Le Géographe canadien* published by Wiley Periodicals LLC on behalf of Canadian Association of Geographers / l'Association canadienne des géographes.

suggest that the trajectory of the river evolved differently depending on the fluvial style and the grain size composition of each of its homogeneous segments. However, log drive activities in river and dam removal appear to have been the most important controlling factors on the evolution of the stream trajectory. The dismantling notably allowed the restoration of hydrogeomorphological processes and the free movement of salmonids. A better procedure for dam removal and monitoring should be put in place in Canada to encourage this practice.

KEYWORDS

dam decommission and dismantling, hydrogeomorphological process, river rehabilitation

Messages clés

- Les activités de la drave et le démantèlement du barrage ont fortement affecté la trajectoire hydrogéomorphologique de la rivière des Escoumins, au Québec.
- Un démantèlement de barrage permet une restauration globale de l'écosystème fluvial et de ses processus hydrogéomorphologiques en plus d'améliorer les habitats disponibles pour les espèces aquatiques.
- Le démantèlement des barrages désuets ou désaffectés doit être considéré pour la restauration des écosystèmes fluviaux et une meilleure procédure entourant cette pratique doit être mise en place au Canada.

INTRODUCTION

Pendant de nombreuses décennies, et encore à ce jour, les humains ont modifié les paysages, notamment pour le développement des villes et de l'agriculture (Biron, 2017; Lau et al., 2006). De nombreux cours d'eau ont été la cible de modifications anthropiques et celles-ci n'ont pas été sans conséquence. En effet, la canalisation ou la linéarisation des cours d'eau, la mise en place de barrages, de digues, de remblais ou d'enrochements, l'utilisation de la plaine inondable pour le développement agricole et urbain, le dragage ou encore les coupes à blanc, perturbent fortement les bassins versants et mettent en péril l'équilibre et le bon fonctionnement des systèmes fluviaux (Biron, 2017; Wohl et al., 2015).

Au Québec, nombreuses sont les rivières qui ont été affectées par des perturbations anthropiques (Biron, 2017). Parmi celles-ci, il y a la rivière des Escoumins, située sur la Haute-Côte-Nord, Québec, Canada. À partir de 1846, cette rivière qui se jette dans le fleuve Saint-Laurent a connu des perturbations importantes dues aux activités de la drave afin de transporter le bois des portions amont vers l'embouchure de la rivière. À l'époque, afin d'optimiser les activités de ce secteur, plusieurs tronçons de la rivière ont été linéarisés, dynamités et élargis et un barrage a été construit près de l'embouchure. Le barrage a finalement été démantelé en 2013 (Ferron et al., 2019) à la suite d'un incendie majeur survenu en septembre 2012. Ces perturbations anthropiques ont laissé des séquelles importantes sur la morphologie de la rivière et sur les processus fluviaux qui s'y rattachent, affectant du même coup l'habitat du saumon atlantique (Biron, 2017).

La qualité de l'habitat du saumon atlantique en rivière est fortement reliée à la morphologie du cours d'eau. En effet, il est nécessaire qu'il y ait une variété de formes fluviales afin de satisfaire tous les stades du cycle de vie de l'espèce (Wilkins et Snyder, 2011). Par exemple, l'habitat de fraie préférentiel du saumon atlantique se caractérise par une profondeur d'eau se situant entre 20 et 50 cm, ce qui fait en sorte que les frayères sont généralement situées près des berges, à l'extrémité des fosses ou dans les radiers (Armstrong et al., 2003; Dubé, 2013). L'habitat pour les premiers stades du cycle de vie du saumon atlantique se confond avec l'habitat de fraie, puisque les jeunes alevins s'installent dans les radiers à proximité du site de reproduction (Bardonnet et Baglinière, 2000). Au stade de tacons, l'habitat privilégié par le saumon atlantique se caractérise par des radiers à substrats grossiers pour les jeunes de l'année, alors que les tacons de plus d'un an préfèrent les rapides (Bardonnet et Baglinière, 2000). Au stade adulte, le saumon atlantique recherche plutôt des fosses, c'est-à-dire des zones ayant une profondeur maximale supérieure à 90 cm. Par conséquent, les besoins du saumon atlantique en termes d'habitat mettent en évidence la nécessité d'avoir une hétérogénéité au sein des habitats qui composent une rivière. De plus, comme il s'agit d'une espèce migratrice, il est nécessaire qu'une connectivité existe entre ces divers habitats pour permettre la montaison des adultes jusqu'aux frayères, la dévalaison des saumoneaux vers l'océan ainsi que les déplacements saisonniers (Dubé, 2013).

L'hétérogénéité et la connectivité des habitats sont étroitement liées à la dynamique sédimentaire des cours d'eau. En effet, dans une rivière graveleuse, le transport de la charge de fond (sédiments du lit), forcent le cours d'eau à se déplacer et à ajuster sa géométrie (Vázquez-Tarrio et

Batalla, 2019). Par exemple, si un écoulement perd de sa puissance, les sédiments transportés se déposeront et des bancs d'accumulation apparaîtront dans le chenal. En augmentant la rugosité du lit, ces bancs affecteront à leur tour le transport de sédiments et la morphologie du chenal. Les formes d'accumulation font ralentir et dévier l'écoulement, provoquant ainsi des foyers d'érosion et forçant le cours d'eau à accumuler une grande quantité de sédiments. La morphologie du cours d'eau en est alors modifiée, puisqu'une variété de formes se développe dans le lit du chenal, tels que des fosses et des radiers (Church, 2006; Gomez, 1991). Le transport sédimentaire permet donc de créer l'hétérogénéité et la connectivité des habitats nécessaires aux espèces aquatiques.

Toutefois, les perturbations anthropiques viennent modifier la dynamique hydrosédimentaire d'un cours d'eau et, du même coup, sa morphologie. À titre d'exemple, la linéarisation, en réduisant la sinuosité, engendre une augmentation de la vitesse d'écoulement et de la taille des sédiments transportés par la rivière ainsi qu'une homogénéité de ses formes (Lau et al., 2006; Nakamura et al., 2014). L'augmentation de la vitesse d'écoulement accentue ainsi les processus d'érosion, notamment le phénomène d'incision du lit du chenal (Nakamura et al., 2014). L'augmentation de la taille des sédiments et l'homogénéité des formes diminuent ainsi la diversité des habitats disponibles pour la faune aquatique (Lau et al., 2006; Nakamura et al., 2014). La présence d'un barrage, pour sa part, perturbe le transport sédimentaire en retenant les sédiments dans le réservoir en amont. Ceci entraîne alors une aggradation du lit en amont du barrage. À l'inverse, étant privé d'un apport sédimentaire, le chenal en aval du barrage aura tendance à s'inciser afin de retrouver un nouvel état d'équilibre (Bednarek, 2001; Pizzuto, 2002).

Par conséquent, l'évolution de la dynamique fluviale de la rivière des Escoumins, depuis 1964, a été analysée afin de quantifier l'impact que les travaux reliés à la drave, la présence du barrage et le démantèlement du barrage ont eu sur sa trajectoire hydrogéomorphologique. L'année 1964 correspond à la date des photographies aériennes les plus anciennes disponibles. De plus, la restauration des cours d'eau et le démantèlement de barrages étant des enjeux réels dans plusieurs bassins versants, les résultats de cette analyse pourraient contribuer au développement de nouvelles connaissances sur la dynamique fluviale en rivière graveleuse afin d'intégrer les processus hydrogéomorphologiques dans la gestion et la restauration des cours d'eau au Québec et au Canada.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le site à l'étude

La rivière des Escoumins se situe dans la région administrative de la Côte-Nord, mais une partie de son bassin versant touche également à la région administrative du Saguenay-Lac-Saint-Jean (Figure 1A). Son bassin versant draine une superficie de 798 km². Celui-ci est divisé entre les municipalités des Escoumins et des Bergeronnes ainsi que les territoires non organisés du Lac-au-Brochet et du Mont-Valin (Nihouarn, 2009) (Figure 1B). Le caractère forestier du bassin versant fait en sorte qu'il a longtemps été exploité pour son bois. En effet, les coupes forestières ont débuté dès 1845 alors que le flottage du bois (drave) aurait débuté autour de 1846 sur la rivière des Escoumins et ses tributaires. C'est à cette époque, afin de favoriser le transport du bois, que le profil de la rivière a été modifié par la linéarisation, le dynamitage ou l'élargissement de plusieurs tronçons (Ferron et al., 2019). Un barrage a également été construit en 1846 à proximité de l'embouchure (Nihouarn, 2009). Le flottage du bois sur la rivière s'est finalement terminé en 1977. Lors de la période de flottage du bois, la rivière a été difficilement accessible pour le saumon. Maintenant, à la suite du démantèlement du barrage et de l'installation d'une passe migratoire sur la chute du Grand-Sault, le saumon a de nouveau accès à la rivière des Escoumins jusqu'à la chute à Pinel, chute située à 36 km en amont de l'embouchure (Nihouarn, 2009) (Figure 1C).

La portion de la rivière qui est accessible par le saumon représente donc les limites du territoire à l'étude. En effet, la limite aval se trouve à l'embouchure de la rivière des Escoumins, soit en aval de l'ancien barrage et à la limite de l'estuaire du Saint-Laurent. La limite amont, pour sa part, se trouve à environ 34,4 km de l'embouchure et elle est délimitée par la route forestière qui traverse la rivière (pont du 20 milles), légèrement en aval de la chute à Pinel (Figure 1C).

L'analyse de la trajectoire hydrogéomorphologique

Considérant le fait qu'une rivière peut réagir différemment aux aménagements et à la restauration dans le cours de son corridor fluvial, le site d'étude a d'abord été segmenté en tronçons homogènes. La segmentation a été réalisée selon la méthode développée par Demers et Buffin-Bélanger (2011), à partir des variables de puissance spécifique, de pourcentage de pente, de largeur de plaine alluviale, de superficie érodée, de composition granulométrique et d'état des berges. Il en résulte trois tronçons morphodynamiques homogènes, soit les tronçons amont, médian et aval.

Pour l'analyse de la trajectoire hydrogéomorphologique historique, une série d'imageries aériennes du secteur a été utilisée (1964, 1972, 1975, 1986, 1990, 2000, 2012 et 2019). Les imageries disponibles ont préalablement été géoréférencées dans ArcMap 10.7.1. Par la suite, toujours à l'aide d'ArcMap 10.7.1, le lit mineur, le thalweg et les bancs d'accumulation ont été numérisés pour chacune des

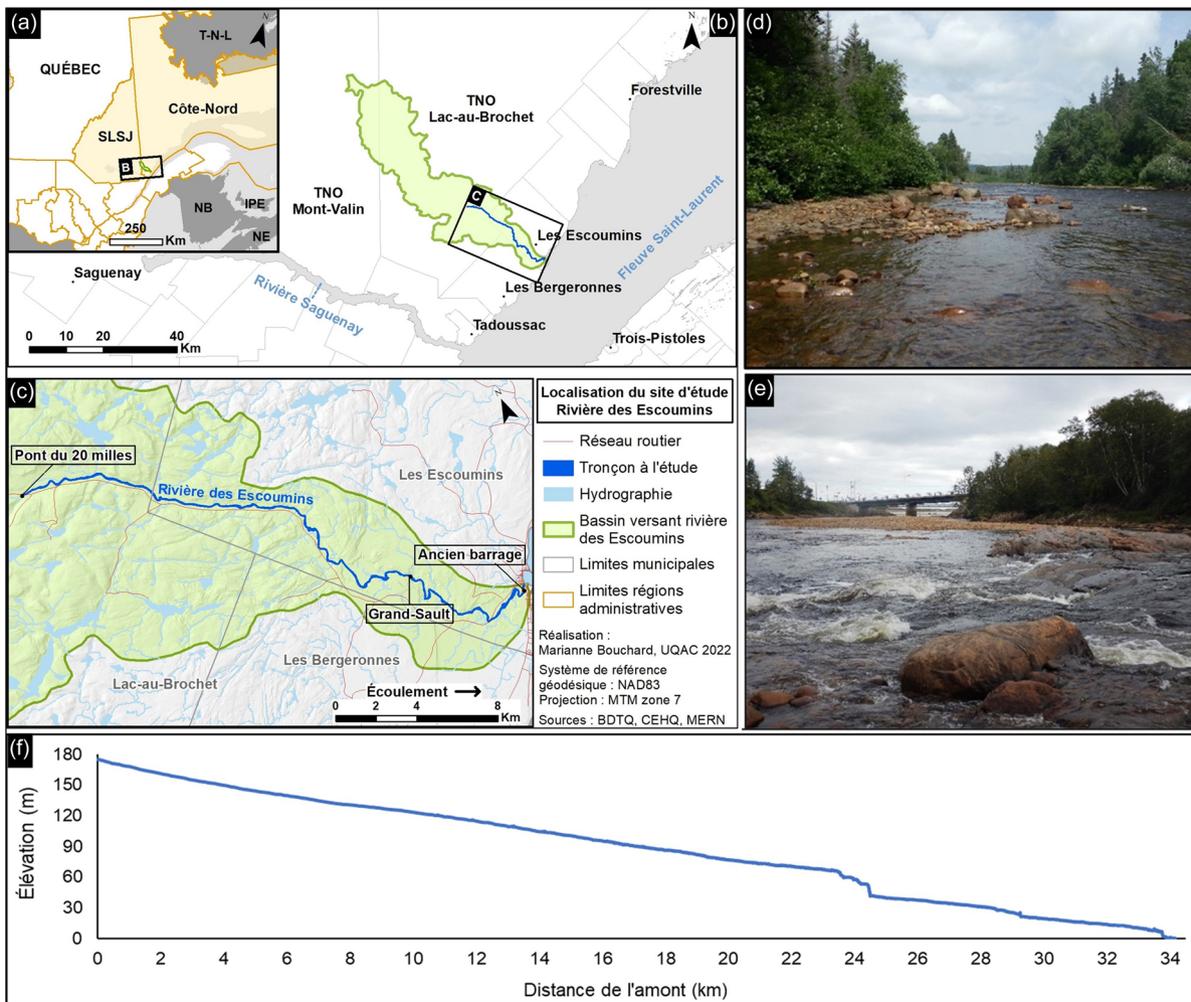


FIGURE 1 Localisation du territoire à l'étude : (a) Localisation du bassin versant à l'échelle provinciale (b) Localisation du bassin versant à l'échelle régionale (c) Localisation du tronçon à l'étude (d) Rivière des Escoumins, 6 km en amont de l'ancien barrage (e) Rivière des Escoumins, en aval de l'ancien barrage (f) Profil longitudinal de la rivière des Escoumins.

séquences temporelles. Une fois la numérisation complétée sur l'ensemble du site d'étude et pour chaque séquence temporelle, les taux de recul par année, l'évolution des largeurs du chenal, l'indice de sinuosité et les superficies des bancs d'accumulation par kilomètre ont été quantifiés afin de localiser, dans le temps et dans l'espace, les changements morphologiques qui sont survenus au sein de la rivière des Escoumins.

Les taux de recul ont été obtenus, d'abord, en superposant les tracés des lits mineurs des années qui se succèdent. Il en résulte une superficie totale érodée pour la période analysée. Cette superficie totale a ensuite été divisée par l'intervalle de temps qui sépare les deux tracés de lit mineur concernés afin d'obtenir la superficie érodée par année. Finalement, la superficie érodée par année a été divisée par la longueur du tronçon d'étude afin de déterminer le taux de recul annuel moyen de la rivière entre chaque période. Pour quantifier l'évolution des largeurs du tronçon à l'étude, une ligne a été tracée perpendiculairement au thalweg, à chaque 50 mètres, et découpée en fonction du tracé du lit mineur. La largeur médiane de ces lignes a été utilisée pour déterminer la largeur du chenal. La démarche utilisée pour quantifier l'indice de sinuosité sur la rivière des Escoumins a été d'effectuer le rapport entre la longueur du thalweg et la longueur de l'axe central de la vallée (Demers et al., 2014). L'axe central de la vallée a été délimité à l'aide d'images LiDAR, en fonction des versants de la vallée et des limites de la plaine alluviale. Enfin, les superficies totales des bancs d'accumulation ont d'abord été calculées à partir de la numérisation effectuée préalablement. Par la suite, les superficies totales ont été divisées par la longueur, en kilomètres, du tronçon à l'étude afin d'obtenir les superficies des bancs d'accumulation par kilomètre.

Toujours dans l'optique d'analyser la trajectoire hydrogéomorphologique de la rivière, mais au niveau de son élévation, des vols de drone ont été effectués à l'été 2021 sur les 2,4 derniers kilomètres de la rivière. À partir des orthophotographies obtenues des vols de drone, un modèle numérique de terrain (MNT) a été créé dans *Agisoft Metashape*. À l'aide de l'outil *Calculatrice raster*, dans *ArcMap 10.7.1*, une soustraction a été effectuée entre le MNT datant de 2021 et le LiDAR de 2013 afin de déterminer les différences d'élévation du lit mineur entre les deux périodes.

RÉSULTATS

Les tendances, cycles et ruptures dans l'évolution du cours d'eau

La trajectoire hydrogéomorphologique historique est un concept qui permet, à travers l'analyse de variables morphométriques, de déterminer la façon dont un cours d'eau s'est comporté et a évolué à travers le temps. Cette analyse permet ensuite de mettre en évidence des tendances, des cycles ou des ruptures dans l'évolution du cours d'eau. La trajectoire hydrogéomorphologique historique de la rivière des Escoumins est donc analysée selon les taux de recul des berges, la sinuosité, la superficie des bancs d'accumulation par kilomètre et la largeur du chenal.

Au cours de la période 1964 à 1986, les taux de recul révèlent un pic de mobilité entre 1975 et 1986, avec un recul moyen de 0,41 mètre par année (Figure 2a). Il s'agit de la période où l'activité géomorphologique a été la plus importante. À l'inverse, la période de 1990 à 2000 est celle où les taux de recul ont été les plus bas, avec un recul moyen de 0,15 mètre par année. D'autre part, l'analyse de l'indice de sinuosité révèle une faible augmentation de la sinuosité globale du cours d'eau à travers le temps (Figure 2b). En effet, mis à part une légère diminution de la sinuosité entre 1964 et 1975, la sinuosité a été en constante augmentation entre 1975 et 2019 avec un indice variant de 1,176 à 1,202.

De la même manière, l'analyse des superficies des bancs d'accumulation par kilomètre, indique qu'en 2019, le cours d'eau a atteint les superficies les plus importantes, avec 10 893 m² de bancs d'accumulation par kilomètre (Figure 2c). Le cours d'eau a connu deux autres périodes où cette superficie a été importante, soit en 1964 et en 1990 alors que les résultats révélaient 9 652 m² et 10 075 m² de bancs d'accumulation par kilomètre. Enfin, l'analyse de l'évolution de la largeur médiane du cours d'eau a permis d'identifier 1986 comme étant l'année où le cours d'eau a atteint la largeur médiane la plus élevée avec 52,30 m (Figure 2d). Inversement, le cours d'eau a atteint sa plus faible largeur médiane en 1964, avec 46,88 m.

La segmentation a révélé que le cours d'eau adopte des comportements différents tout au long du corridor fluvial. Ainsi, il est pertinent d'effectuer une analyse de la trajectoire hydrogéomorphologique de chacun des tronçons homogènes de manière à spatialiser les changements et les tendances observés à travers le temps.

La figure 3a témoigne d'un contraste important dans l'évolution des taux de recul entre les trois tronçons. Ils sont plus faibles dans le tronçon amont et varient entre 0,07 m et 0,29 m par année. Inversement, les taux de recul varient davantage et sont plus élevés dans le tronçon médian. Un pic de mobilité important a eu lieu entre 1975 et 1986, alors que les taux de recul passent de 0,48 m à 0,68 m par année. Ils diminuent ensuite de manière importante pour atteindre leur taux le plus bas entre 1990 et 2000 avec 0,17 m par année. Le tronçon aval, pour sa part, est celui présentant les variations de taux de recul les plus faibles à travers le temps, avec des taux allant de 0,16 m à 0,30 m par année. Un pic de mobilité important est perceptible entre 2012 et 2019, alors que les taux de recul sont passés de 0,16 m à 0,26 m par année.

De grandes différences existent également dans l'évolution de la sinuosité des trois tronçons homogènes (Figure 3b). Le tronçon amont affiche la sinuosité la plus faible à travers le temps avec un indice variant de 1,051 à 1,061. L'augmentation de la sinuosité la plus importante de ce tronçon a eu lieu entre 2012 et 2019 alors que l'indice est passé de 1,054 à 1,061. Le tronçon médian révèle une augmentation de sa sinuosité un peu plus soutenue avec un indice variant de 1,220 en 1964 à 1,255 en 2019. Entre 1975 et 1986, le tronçon médian révèle la plus forte augmentation de sa sinuosité, avec un indice passant de 1,217 à 1,228. La sinuosité est en augmentation constante depuis ce moment. Enfin, le tronçon aval affiche la sinuosité la plus élevée avec un indice variant de 1,315 à 1,348. L'augmentation la plus importante de la sinuosité a eu lieu entre 2012 et 2019 alors que l'indice est passé de 1,337 à 1,348. Tout comme le tronçon médian, la sinuosité est en constante augmentation depuis 1975.

La superficie des bancs d'accumulation par kilomètre varie aussi d'un tronçon à l'autre (Figure 3d). Cette superficie est particulièrement faible pour le tronçon amont et elle varie peu à travers le temps, avec des superficies allant de 1 032 m² à 3 047 m² par kilomètre. À l'inverse, le tronçon médian a connu la superficie des bancs d'accumulation par kilomètre la plus élevée des trois tronçons, avec 19 099 m² par kilomètre en 1964. Cette superficie a diminué par la suite, pour atteindre une superficie minimale de 11 630 m² par kilomètre en 2000. Enfin, le tronçon aval affiche une augmentation importante de sa superficie des bancs d'accumulation par kilomètre à deux reprises, soit en 1990 et en 2019 alors qu'elle était respectivement de 14 722 m² et de 15 139 m² par kilomètre. La période de 1975 a été celle où la superficie des bancs d'accumulation par kilomètre a été la plus basse dans le tronçon aval, soit 6 773 m² par kilomètre.

La figure 3e affiche les différences et les similitudes au niveau de l'évolution de la largeur médiane du chenal entre les trois tronçons. Tous les tronçons ont connu l'élargissement le plus important de leur chenal entre 1975 et 1986. Par ailleurs, le tronçon amont affiche des variations de sa largeur médiane comprises entre 46,19 m et 51,21 m. Le tronçon médian est celui ayant connu les variations les plus importantes à travers le temps, avec des largeurs médianes allant de 46,39 m à 52,75 m. Ce tronçon est également marqué par une diminution de sa largeur médiane entre 1990 et 2000, avec une largeur de chenal passant de 52,75 m à 48,61 m. De son côté, le tronçon aval affiche une largeur médiane variant de 48,85 m à 55,03 m. Outre l'élargissement marqué en 1986, la largeur médiane de ce tronçon a été assez stable à travers le temps, à l'exception d'une autre période, soit celle de 2012 à 2019. En effet, cette période indique une forte diminution de la largeur médiane du tronçon, alors que celle-ci est passée de 51,67 m en 2012 à 48,85 m en 2019.

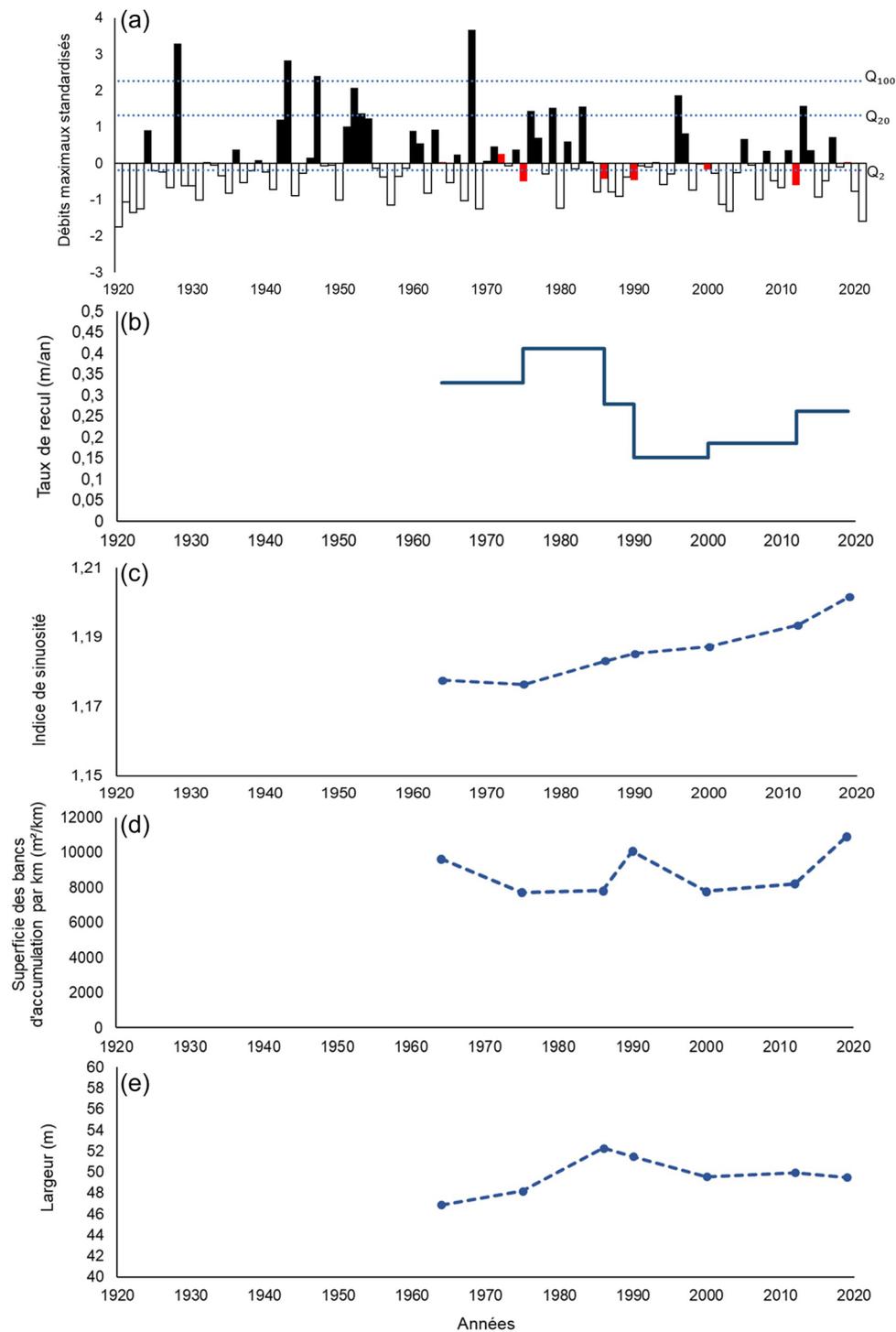


FIGURE 2 Évolution de la trajectoire hydrogéomorphologique de la rivière des Escoumins : (a) débits maximaux historiques standardisés (b) taux de recul, (c) indice de sinuosité, (d) superficie des bancs d'accumulation par km, (e) largeur du chenal. En rouge : années des photographies aériennes utilisées pour les analyses.

La trajectoire hydrogéomorphologique et le démantèlement du barrage

La trajectoire hydrogéomorphologique de la rivière des Escoumins a été influencée par la présence d'un barrage pendant 167 ans. Localisée à proximité de l'embouchure de la rivière, cette infrastructure a inévitablement entraîné des répercussions sur la dynamique fluviale du cours d'eau et, par conséquent, sur l'habitat du saumon atlantique. Le barrage a toutefois été démantelé en 2013. Ainsi, la trajectoire

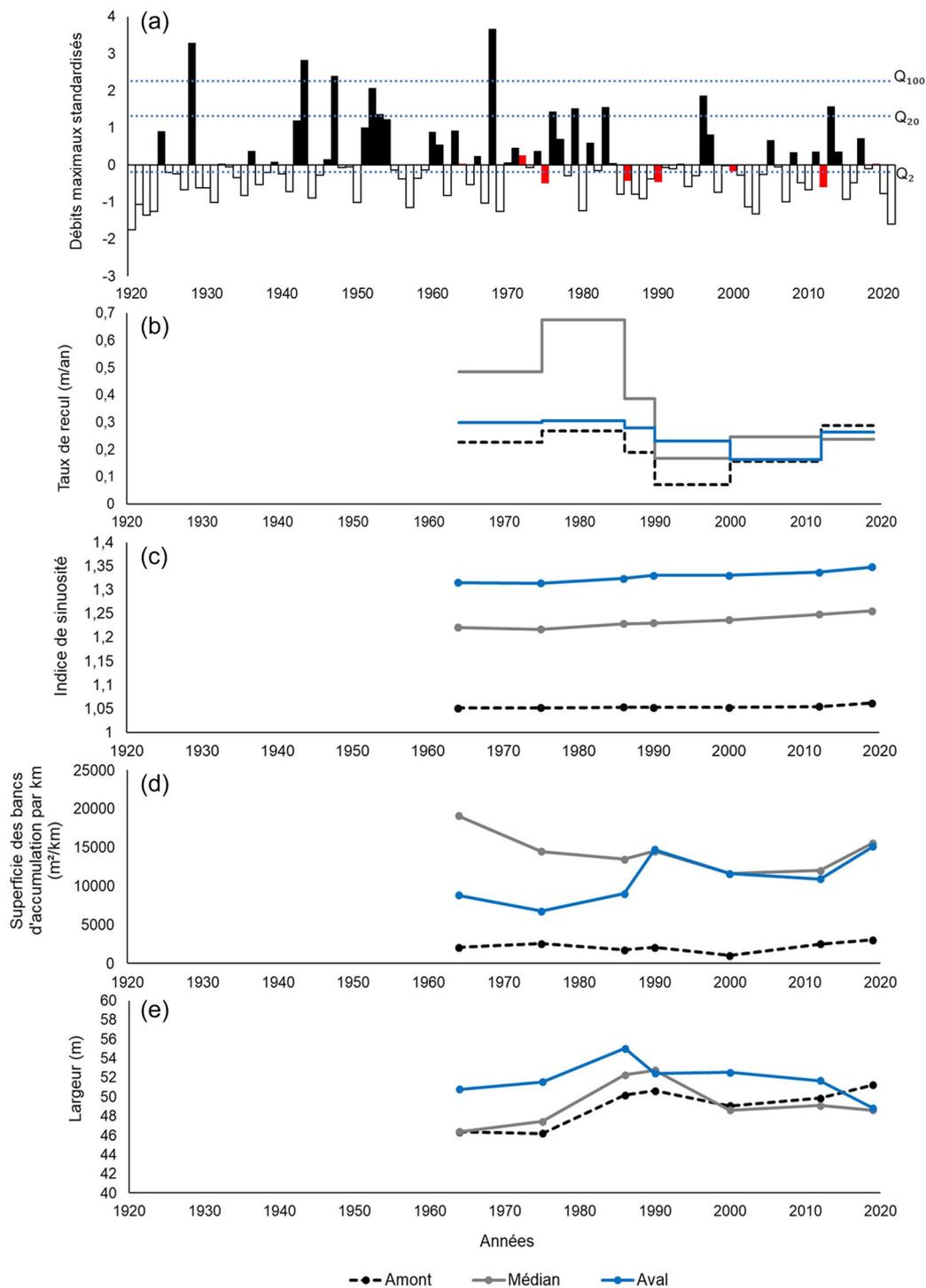


FIGURE 3 Évolution de la trajectoire hydrogéomorphologique de la rivière des Escoumins par tronçons homogènes : (a) débits maximaux historiques standardisés (b) taux de recul, (c) indice de sinuosité, (d) superficie des bancs d'accumulation par km, (e) largeur du chenal. En rouge : années des photographies aériennes utilisées pour les analyses.

hydrogéomorphologique du cours d'eau est analysée de manière détaillée pour les 2,4 derniers kilomètres, soit environ 400 mètres en aval du barrage jusqu'à l'embouchure et deux kilomètres en amont du barrage.

À l'image du reste du cours d'eau, le tronçon influencé par le barrage a connu un pic de mobilité entre la période 1972 et 1986, alors que les taux de recul sont passés de 0,12 m à 0,35 m par année (Figure 4a). Un second pic de mobilité beaucoup plus important est survenu entre 2012 et 2019, c'est-à-dire pour la période suivant le démantèlement du barrage. Les taux de recul ont atteint 0,53 m par année, contrairement à des taux de 0,16 m par année pour la période précédente. La période marquée par le démantèlement du barrage correspond donc à la période où

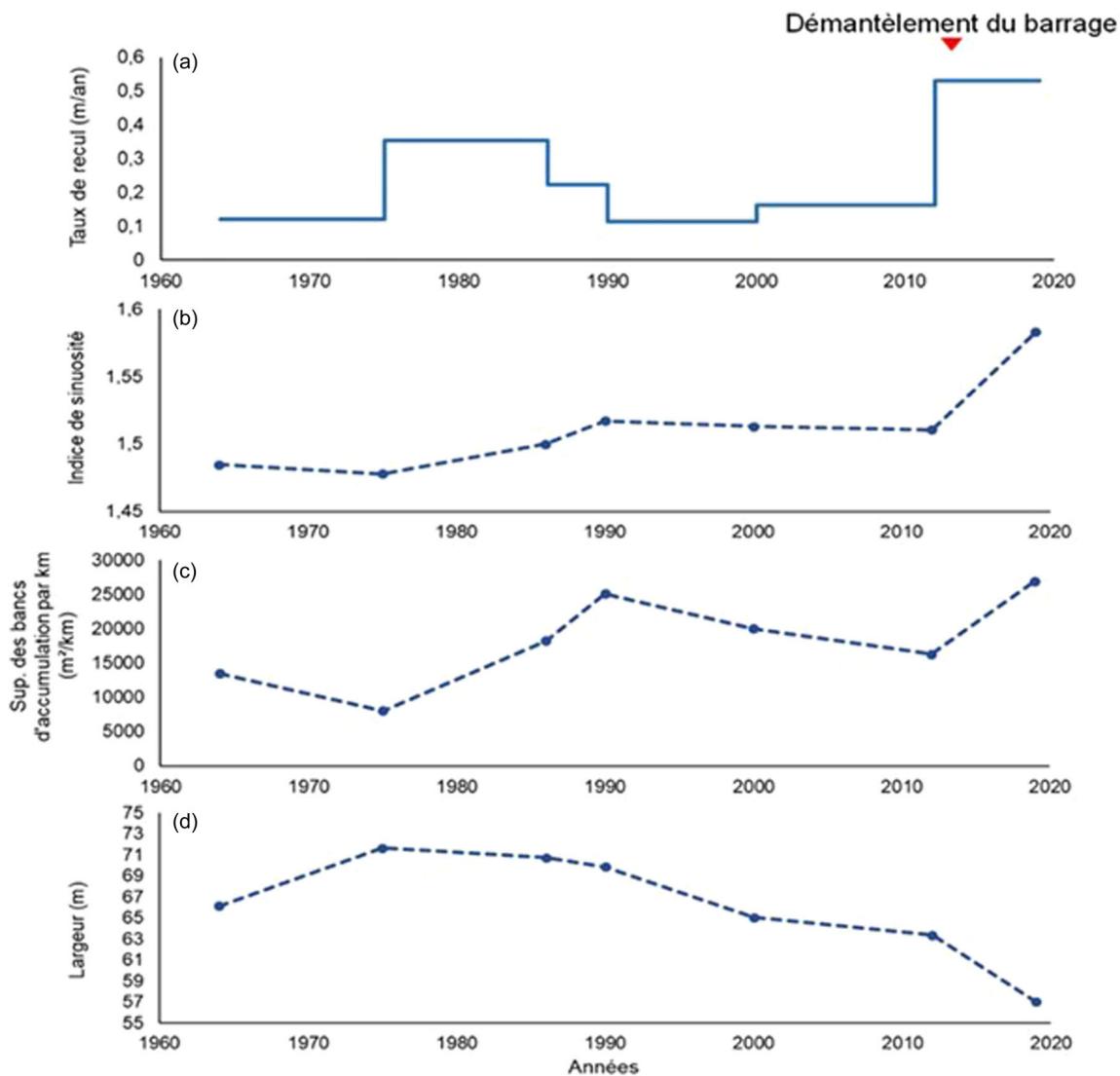


FIGURE 4 Évolution temporelle de la trajectoire hydrogéomorphologique des 2,4 derniers km de la rivière des Escoumins, pré et post-démantèlement du barrage : (a) taux de recul, (b) indice de sinuosité, (c) superficie des bancs d'accumulation par km, (d) largeur du chenal.

l'activité géomorphologique a été la plus importante sur ce tronçon. La sinuosité des 2,4 derniers kilomètres a également beaucoup évolué entre 1964 et 2019 (Figure 4b). Une première augmentation de la sinuosité est perceptible entre 1972 et 1990, alors que l'indice varie de 1,478 à 1,517. L'évolution la plus marquée de la sinuosité est survenue entre 2012 et 2019. L'indice est passé de 1,511 à 1,583. Ainsi, la période du démantèlement se traduit par une augmentation importante de la sinuosité en amont et en aval de l'ancien barrage.

Une évolution est également percevable en ce qui concerne la superficie des bancs d'accumulation par kilomètre (Figure 4c). Encore une fois, deux périodes se démarquent, soit celle de 1975 à 1990 et celle de 2012 à 2019. Lors de la première période, la superficie est passée de 8 053 m² à 25 123 m² par kilomètre, ce qui représente une augmentation de 948 m² par kilomètre par année. Pour la période de 2012 à 2019, elle est plutôt passée de 16 296 m² à 26 918 m² par kilomètre, représentant une augmentation de 1 517 m² par kilomètre par année. La période de 2012 à 2019 concorde donc avec l'augmentation la plus marquée des superficies de bancs d'accumulation par kilomètre.

Enfin, des changements importants, en termes de largeur médiane du chenal, sont perceptibles dans ce tronçon influencé par le barrage (Figure 4d). La largeur médiane a augmenté considérablement entre 1964 et 1972, alors qu'elle est passée de 66,15 m à 71,67 m. Depuis 1972, le chenal de ce tronçon a rétréci de manière constante. Toutefois, la période de 2012 à 2019 a connu des changements morphologiques particulièrement notables avec une diminution de 6,36 m de la largeur médiane. En effet, en sept ans, la largeur médiane du tronçon est passée de 63,39 m à 57,03 m. Ainsi, comme pour les autres variables morphométriques, le démantèlement du barrage, comme attendu, a eu un impact considérable sur l'évolution de largeur médiane du chenal.

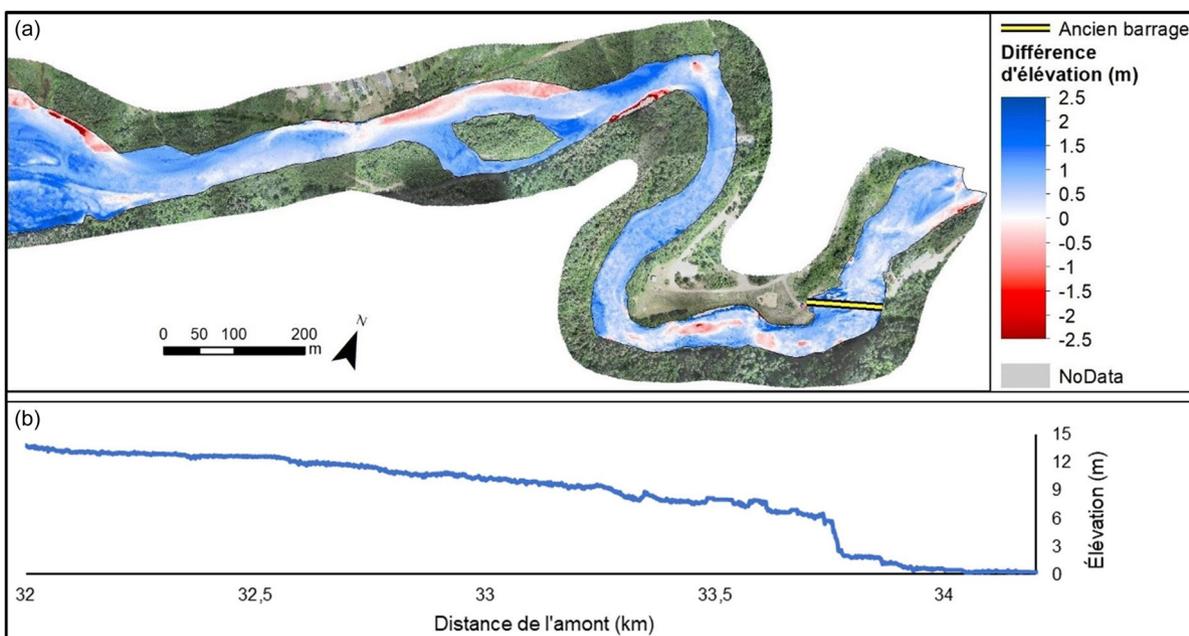


FIGURE 5 (a) Différence d'élévation, en mètres, sur les 2,4 derniers kilomètres de la rivière des Escoumins entre 2013 et 2021, (b) profil longitudinal des 2,4 derniers kilomètres de la rivière des Escoumins.

La comparaison entre le modèle numérique de terrain issu des images de drone datant de 2021 et le LiDAR datant de 2013 a également permis de révéler des différences d'élévation entre les deux périodes (Figure 5). Ces différences signifient qu'il y a eu un abaissement ou un rehaussement du niveau de la surface de l'eau de la rivière d'une année à l'autre. Ces modifications du niveau de la surface sont généralement reliées aux ajustements du niveau du lit du cours d'eau. Un abaissement de la surface de l'eau peut donc référer à une incision du lit tandis qu'un rehaussement de la surface peut plutôt correspondre à de l'aggradation. De manière générale, le tronçon de 2,4 kilomètres a connu un léger rehaussement entre les mois qui ont suivi le démantèlement du barrage en 2013 et l'été 2021. Toutefois, certaines portions se démarquent, notamment celles situées juste en amont de l'ancien barrage, où un abaissement est notable dans le centre du chenal. Une autre zone d'érosion plus importante est notable à environ 1,2 km en amont de l'ancien barrage. Des zones de rehaussement sont aussi perceptibles, juste en aval des zones d'abaissement ou à proximité des bancs d'accumulation ou végétalisés. En aval de l'ancien barrage, la différence d'élévation entre les deux périodes est plutôt marquée par un léger rehaussement.

DISCUSSION

À la lumière des résultats obtenus précédemment, la trajectoire hydrogéomorphologique et les divers facteurs de contrôle sont mis en relation afin de faire ressortir ceux qui ont orienté l'évolution de la morphologie du cours d'eau à travers le temps. Dans un deuxième temps, les impacts du démantèlement du barrage et des activités de la drave sur la trajectoire hydrogéomorphologique sont discutés. Enfin, une réflexion sur la gestion de nos rivières est proposée.

Les interrelations entre la trajectoire hydrogéomorphologique et les facteurs de contrôle

Les différents styles fluviaux peuvent être associés à des processus dominants qui régissent l'évolution de la morphologie des cours d'eau (Buffin-Bélanger et al., 2015; Church, 2006). Dans le tronçon amont du secteur étudié de la rivière des Escoumins, le style fluvial linéaire et les travaux de linéarisation pour la drave ont contribué à la stabilité de sa trajectoire hydrogéomorphologique et aux faibles changements morphologiques survenus. En effet, le tronçon amont affiche un style fluvial linéaire conditionné principalement par le confinement de la vallée, ce qui laisse peu d'espace au cours d'eau pour migrer latéralement. C'est également ce qui limite la sinuosité du chenal. De plus, la granulométrie très grossière qui compose ce tronçon contribue également à sa stabilité. Les sédiments grossiers étant plus difficilement mis en mouvement, les changements morphologiques surviennent seulement lors de crues plus importantes et s'étendent donc sur une échelle de temps plus longue (Church, 2006).

Par rapport aux autres tronçons, le tronçon médian s'est démarqué par une évolution plus importante de sa trajectoire hydrogéomorphologique qui s'explique par son style fluvial divagant. Un cours d'eau divagant se distingue par une morphologie plus instable liée à une charge de fond importante. La dynamique de ce type de cours d'eau est aussi plus sensible aux variations des débits liquides et solides (Buffin-Bélanger et al., 2015). La migration latérale du chenal et la création de bancs centraux et de convexité y sont donc des processus dominants (Burge, 2005; Rice et al., 2009).

Le tronçon aval se caractérise par une trajectoire généralement stable à travers le temps dû à son style fluvial à méandres dynamiques. En effet, ce style fluvial se distingue par une plus grande stabilité que les cours d'eau divagants, dû à des sédiments généralement plus fins qui offrent davantage de cohésion (Buffin-Bélanger et al., 2015; Church, 2006). Le tronçon aval est effectivement composé d'une granulométrie plus fine, avec une proportion élevée de gravier. Du sable et de l'argile limoneux sont également présents à proximité de l'embouchure (Martineau, 2007).

En plus du style fluvial et des processus dominants associés, les différents tronçons sont soumis à des facteurs de contrôle externes qui peuvent aussi influencer leur trajectoire hydrogéomorphologique. Parmi ceux-ci, il y a les épisodes de crues. En effet, les débits élevés entraînent le transport de sédiments, notamment le transport en charge de fond, qui joue un rôle déterminant dans le développement de la morphologie d'un chenal (Vázquez-Tarrío et Batalla, 2019) et donc sur l'évolution de la trajectoire d'un cours d'eau. L'analyse des résultats démontre qu'une période a été particulièrement marquante pour l'ensemble des tronçons, soit celle de 1975 à 1986. Cette période concorde avec un épisode où les débits maximaux ont été particulièrement élevés plusieurs années de suite (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques, 2020). Ces événements hydrologiques importants ont certainement agi à titre de facteurs de contrôle sur la morphologie de la rivière. En effet, la hausse du débit liquide a engendré une augmentation de la capacité du cours d'eau à déplacer des sédiments et donc à éroder ses berges, ce qui a contribué à la migration latérale et à l'élargissement du chenal (Church, 2006). Cette période concorde aussi avec la fin des travaux d'entretien qui avaient lieu dans le cours d'eau pour le flottage du bois (Ferron et al., 2019). En altérant le pavage naturel du lit pendant de nombreuses décennies, ces travaux ont probablement contribué à augmenter la disponibilité des sédiments pour le cours d'eau, les rendant plus facilement érodables et provoquant ainsi des ajustements morphologiques plus intenses (Demers et al., 2014).

Inversement, la période de 1990 à 2000 a été marquante pour avoir engendré très peu de changements morphologiques. Pourtant, durant cette période, a eu lieu une crue majeure, soit celle associée aux fortes pluies de l'été 1996, épisode communément qualifié de « déluge » par les populations locales. Cette crue a dépassé celles qui ont eu lieu entre 1975 et 1986. Toutefois, cet événement hydrologique important ne se reflète pas dans la trajectoire hydrogéomorphologique. Ceci laisse penser, qu'à la suite des premiers ajustements qui ont eu lieu après la fin des travaux d'entretien, la rivière des Escoumins est moins réactive aux débits élevés. Ceci pourrait s'expliquer par la création d'un pavage de sédiments naturel sur le lit et l'adoucissement des pentes depuis la fin des travaux d'entretien. Les sédiments sont donc moins disponibles, ce qui diminue l'ampleur des ajustements morphologiques (Demers et al., 2014).

Les impacts du démantèlement du barrage et de la fin de la drave sur la rivière

Pendant plus de 100 ans, le barrage près de l'embouchure a également contrôlé la trajectoire hydrogéomorphologique de la rivière en limitant l'écoulement du débit liquide et solide de l'amont vers l'aval. Pour la période de 2012 à 2019, les résultats ont démontré des changements morphologiques importants sur les 2,4 derniers kilomètres. Ceci confirme que le démantèlement du barrage en 2013 a eu des impacts non négligeables sur la morphologie du cours d'eau. Ces impacts ont été engendrés d'abord par l'abaissement du niveau d'eau en amont de l'ancien barrage, qui a occasionné de l'incision dans le lit du chenal afin de retrouver un état d'équilibre (Doyle et al., 2005). Cette incision est percevable dans la différence d'élévation obtenue de la comparaison du LiDAR de 2013 avec le MNT de 2021. L'incision a ensuite engendré des ruptures de berges, ce qui explique la hausse marquée des taux de recul. L'année 2013 a également connu une crue particulièrement élevée, ce qui aurait accéléré les processus d'érosion à la suite du démantèlement. En réaction à ces ruptures de berges, des enrochements ont été installés en 2015. Ceux-ci ont agi comme facteurs de contrôle limitant la migration latérale par la suite. Les taux de recul et l'augmentation de la sinuosité entre 2012 et 2019 auraient donc été possiblement plus élevés si ces enrochements n'avaient pas été mis en place. Les ajustements morphologiques qui surviennent à la suite d'un démantèlement de barrage peuvent s'échelonner sur des décennies (Doyle et al., 2005; Pizzuto, 2002), d'autant plus que la rivière des Escoumins n'est pas très dynamique dû à ses pentes faibles, ce qui diminue sa capacité à éroder les sédiments et ralenti son processus de réajustement. Les résultats de la différence d'élévation entre 2013 et 2021 ont tout de même démontré que des ajustements ont entraîné des variations de la surface de l'eau de la rivière et donc possiblement de son lit. Le rehaussement en aval de l'ancien barrage est occasionné par l'évacuation des sédiments jusque-là piégés dans le réservoir du barrage. Le démantèlement a permis d'acheminer ces sédiments vers l'aval. Ce même phénomène explique l'abaissement percevable juste en amont de l'ancien barrage (Doyle et al., 2005).

Enfin, pendant plus d'un siècle, l'exploitation forestière et les activités de la drave ont aussi agi comme facteurs de contrôle sur la trajectoire hydrogéomorphologique de la rivière des Escoumins. Elles ont principalement affecté l'évolution de la sinuosité du cours d'eau. En effet, la drave a été pratiquée de 1845 à 1977 sur la rivière des Escoumins et les résultats ont démontré que, pour la période de 1964 (début de la période

d'étude) à 1975, la sinuosité était en baisse. Cette baisse est une conséquence directe des travaux d'entretien qui avaient lieu dans le cours d'eau pour faciliter la drave (linéarisation). À la suite de cette période, il y a un retour progressif de la sinuosité depuis 1975. Cette augmentation progressive concorde avec la fin du flottage qui a eu lieu en 1977 et donc avec la fin des travaux d'entretien. De plus, même si, tel que mentionné plus haut, le cours d'eau semble moins réactif depuis qu'il a connu ses premiers ajustements post-drave, l'évolution de l'indice de sinuosité suggère que le système est encore en ajustements. En effet, après les perturbations auxquelles il a été soumis, le cours d'eau tente de retrouver un état d'équilibre en rétablissant sa sinuosité naturelle.

D'ailleurs, les observations réalisées par Demers et al. (2014), sur la rivière Marsoui, sont cohérentes avec celles faites sur la rivière des Escoumins. La sinuosité de cette rivière de la Gaspésie, qui a aussi été perturbée par les activités de la drave, a diminué jusqu'à ce que les travaux d'entretien cessent. Son indice de sinuosité est donc également en hausse depuis 1975, mais celle-ci est beaucoup plus marquée que pour la rivière des Escoumins. Cette distinction n'est toutefois pas surprenante, puisque les rivières de la Gaspésie sont reconnues comme étant plus dynamiques dû, entre autres, à des pentes plus fortes (Demers et al., 2014). Ceci leur confère donc une meilleure capacité à retrouver un état d'équilibre naturellement et plus rapidement.

Ainsi, il est légitime de penser que la trajectoire hydrogéomorphologique de la rivière des Escoumins a été fortement conditionnée par les différents facteurs de contrôle auxquels elle a été soumise. Les travaux d'entretien pour la drave ont fragilisé le cours d'eau pendant plusieurs décennies, le rendant plus vulnérable face aux crues de grande envergure. Le barrage, pour sa part, a été une entrave à l'écoulement naturel du débit liquide et solide pendant plus d'un siècle, bouleversant le style fluvial naturel du cours d'eau. L'arrêt de la drave et des travaux d'entretien ont engendré des ajustements majeurs dans le cours d'eau, mais celui-ci semble maintenant vouloir se stabiliser et retrouver une résilience face aux perturbations hydrologiques. L'augmentation de la sinuosité suggère toutefois que l'équilibre n'est pas atteint.

De plus, le démantèlement du barrage a occasionné de nouveaux ajustements nécessaires afin que le cours d'eau se réapproprie son écoulement naturel. Ces ajustements ont cependant été limités par l'installation d'enrochements. Par conséquent, contrairement aux rivières comme la Marsoui, il est nécessaire de s'interroger sur la capacité des rivières comme celle des Escoumins, qui sont beaucoup moins dynamiques, à retrouver un état d'équilibre naturellement (Malvoit et Adam, 2007). Les perturbations du passé qui affectent toujours la rivière (chenal linéarisé) et celles du présent (enrochements) font en sorte qu'elle pourrait avoir davantage de difficultés, voire une incapacité, à restaurer ses processus hydrogéomorphologiques par elle-même.

Toutefois, comme il n'y a pas eu de suivi de la dynamique sédimentaire avant et après le démantèlement du barrage par les gestionnaires de la rivière, il est plus difficile de savoir si les ajustements observés par l'analyse de la trajectoire sont toujours actifs. Si c'est le cas, il est également difficile de savoir s'ils sont toujours reliés à un réajustement du chenal à la suite du démantèlement ou plutôt à un déficit sédimentaire occasionné par l'enrochement des berges et la déconnexion du chenal avec la plaine. Ceci met en évidence l'importance des suivis pré et post-démantèlement de barrage afin d'assurer une gestion efficace des cours d'eau et des projets de restauration durables.

Quelques réflexions sur la gestion de nos rivières

Dans le contexte actuel où de nombreux barrages au Canada arrivent à la fin de leur durée de vie physique et fonctionnelle (Peterson, 2015), leur démantèlement représente une perspective de restauration intéressante. En effet, comme le démantèlement d'un barrage permet de retrouver une connectivité amont-aval, il permet la restauration de plusieurs processus hydrogéomorphologiques en lien avec le transport sédimentaire (transit de sédiments et diversité des formes fluviales) (Magilligan et al., 2016). En lien avec la qualité de l'habitat du saumon atlantique ou d'autres espèces anadromes, la restauration de ces processus permet également une amélioration de la qualité de l'habitat par une augmentation de l'hétérogénéité du lit d'un cours d'eau. Notamment, le démantèlement d'un barrage permet de rétablir la connectivité entre les habitats tout au long du cours d'eau. Les saumons atlantiques, par exemple peuvent ainsi coloniser les sections auparavant inaccessibles et atteindre des frayères ou d'autres habitats optimaux (Bednarek, 2001; Hogg et al., 2015). De plus, les sédiments anciennement piégés en amont du barrage seront distribués en aval lors du démantèlement, permettant ainsi de recréer des habitats dans ce secteur ou d'améliorer leur qualité et d'uniformiser les habitats sur l'ensemble du corridor fluvial (Hatten et al., 2016; Hill et al., 2019). D'ailleurs, le démantèlement de barrage est une pratique de plus en plus courante à travers le monde afin de restaurer les écosystèmes fluviaux, notamment aux États-Unis (American Rivers, 2021). En effet, depuis 1912, 1 797 barrages ont été démantelés dans ce pays, dont 69 uniquement en 2020 (American Rivers, 2021). Plusieurs États ont notamment modifié leurs politiques de gestion des barrages afin de rendre le processus de démantèlement plus fluide, simple et rapide ainsi que moins coûteux. Au Canada, un certain nombre de barrages auraient aussi été démantelés dans les dernières années (Peterson, 2015). Toutefois, à l'inverse des États-Unis, ces démantèlements ont généralement lieu à la suite d'une rupture de barrage et sont réalisés sans procédure structurée et sans suivi pré et post-démantèlement. La plupart des démantèlements ne sont donc pas documentés (Peterson, 2015). Le contexte actuel, où plusieurs barrages sont en fin de vie, devrait donc représenter une opportunité pour le Canada d'améliorer les processus de démantèlement de barrages au pays, entre autres pour les rendre plus accessibles et pour assurer des suivis permettant d'améliorer nos modes de gestion.

CONCLUSION

La dynamique fluviale de la rivière des Escoumins a été caractérisée dans une perspective d'amélioration de l'habitat du saumon atlantique et dans un contexte de démantèlement de barrage. Ainsi, la trajectoire hydrogéomorphologique historique de la rivière a été analysée, depuis 1964, selon une segmentation du cours d'eau en tronçon homogène. Il en est ressorti que la trajectoire de chacun des tronçons a évolué différemment, entre autres, en fonction de leur style fluvial et de leur composition granulométrique. Toutefois, ce sont les activités de la drave et le démantèlement du barrage qui semblent avoir été les facteurs de contrôle les plus importants sur l'évolution récente de la trajectoire du cours d'eau. Ces perturbations ont entraîné des réajustements assez importants qui, selon l'évolution de la sinuosité du cours d'eau, ne semblent pas être achevés. Entre autres, le démantèlement du barrage a permis un écoulement naturel des débits liquides et solides, qui favoriserait ainsi une libre circulation du saumon atlantique et la création d'habitats plus optimaux. Mis à part les impacts sur l'habitat des salmonidés, un démantèlement de barrage permet une restauration globale de l'écosystème fluvial et de ses processus hydrogéomorphologiques. Dans cette optique, dans le contexte actuel, où la pression sur les cours d'eau et sur les écosystèmes qui les composent ne fait qu'augmenter, le démantèlement des barrages désuets ou désaffectés doit être considéré. Un libre écoulement permet d'augmenter la résilience des écosystèmes fluviaux, car, en réponse aux contraintes qui se multiplient (hausse des températures, modifications des habitats, etc.), les espèces peuvent se déplacer vers des habitats plus appropriés ailleurs dans le bassin versant (Grill et al., 2019). Ainsi, comme les systèmes fluviaux représentent certains des environnements les plus diversifiés au monde, il est impératif que des mesures soient mises en place afin de restaurer et protéger ces écosystèmes.

REMERCIEMENTS

Merci aux partenaires financiers (Corporation de Gestion de la Rivière à Saumons des Escoumins (CGRSE), MITACS, Fondation de la faune du Québec (FFQ) et la Fondation pour la conservation du saumon atlantique (FCSA)) qui ont permis la réalisation de ce projet. Merci également à l'équipe du Laboratoire d'expertise et de recherche en géographie appliquée de l'UQAC qui a été d'une aide considérable dans l'aboutissement de ce projet ainsi qu'aux assistants de recherche qui ont contribué à l'acquisition de données sur le terrain. Merci aux trois évaluateurs externes pour leurs commentaires pertinents et qui ont permis d'améliorer la qualité de cet article. Merci à l'équipe d'édition de la revue *Le Géographe Canadien*.

FINANCEMENT

Fondation de la faune du Québec (FFQ).

Fondation pour la conservation du saumon atlantique (FCSA).

MITACS.

ORCID

Maxime Boivin  <http://orcid.org/0000-0002-1248-8061>

BIBLIOGRAPHIE

- American Rivers. (2021, 18 février). 69 Dams Removed in 2020. [https://www.americanrivers.org/2021/02/69-dams-removed-in-2020/#:%7E:text=A%20total%20of%201%2C797%20dams,and%20New%20York%20\(6\)](https://www.americanrivers.org/2021/02/69-dams-removed-in-2020/#:%7E:text=A%20total%20of%201%2C797%20dams,and%20New%20York%20(6))
- Armstrong, J., Kemp, P., Kennedy, G., Ladle, M., et Milner, N. (2003). Habitat requirements of Atlantic salmon and brown trout in rivers and streams. *Fisheries Research*, 62(2), 143–170.
- Bardonnet, A., et Baglinière, J.-L. (2000). Freshwater habitat of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(2), 497–506.
- Bednarek, A. T. (2001). Undamming rivers: A review of the ecological impacts of dam removal. *Environmental Management*, 27(6), 803–814. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s002670010189.pdf>
- Biron, P. (2017). *La restauration de l'habitat du poisson en rivière : une recension des écrits*. Rapport scientifique présenté à la Fondation de la Faune du Québec. <https://robvq.qc.ca/public/documents/bibliotheque/uploaded/tq0imwj6.pdf>. [Visité le 2016-08-01]
- Buffin-Bélanger, T., Demers, S., et Olsen, T. (2015). *Diagnostic hydrogéomorphologique pour mieux considérer les dynamiques hydrosédimentaires aux droits des traverses de cours d'eau : guide méthodologique*. Ministère des transports du Québec. <http://www.bv.transports.gouv.qc.ca/mono/1168356.pdf>
- Burge, L. M. (2005). Wandering Miramichi rivers, New Brunswick, Canada. *Geomorphology*, 69(1–4), 253–274.
- Church, M. (2006). Bed material transport and the morphology of alluvial river channels. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, 34, 325–354.
- Demers, S., et Buffin-Bélanger, T. (2011). Une méthode illustrée pour la sectorisation morphodynamique de la rivière Neigette (Québec). *The Canadian Geographer / Le Géographe canadien*, 55(3), 318–333.

- Demers, S., Olsen, T., et Buffin-Bélanger, T. (2014). *Développement d'une méthode hydrogéomorphologique pour mieux considérer les dynamiques hydrosédimentaires aux droits des traverses de cours d'eau du Bas-Saint-Laurent et de la Gaspésie dans le contexte de changements climatiques et environnementaux*. Laboratoire de géomorphologie et de dynamique fluviale.
- Doyle, M. W., Stanley, E. H., Orr, C. H., Selle, A. R., Sethi, S. A., et Harbor, J. M. (2005). Stream ecosystem response to small dam removal: Lessons from the Heartland. *Geomorphology*, 71(1–2), 227–244.
- Dubé, S. (2013). *Évaluation du potentiel de rétablissement de la population de saumon atlantique de l'île d'Anticosti : habitat et menaces*. Secrétariat canadien de consultation scientifique. <https://publications.gc.ca/site/fra/458892/publication.html>
- Ferron, N., Proulx, B., et Bergeron, M. (2019). *Plan de conservation et de mise en valeur du saumon atlantique de la rivière Escoumins*. Organisme des Bassins versants de la Haute-Côte-Nord - Fédération québécoise pour le saumon atlantique et Corporation de gestion de la rivière à saumon des Escoumins. <https://www.saumonquebec.com/media/2603/plan-de-conservation-et-de-mise-en-valeur-du-saumon-atlantique-de-la-riviere-escoumins-2019.pdf>
- Gomez, B. (1991). Bedload transport. *Earth-Science Reviews*, 31(2), 89–132.
- Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., et Crochetiere, H. (2019). Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, 569(7755), 215–221.
- Hatten, J. R., Batt, T. R., Skalicky, J. J., Engle, R., Barton, G. J., Fosness, R. L., et Warren, J. (2016). Effects of dam removal on Tule fall Chinook salmon spawning habitat in the White Salmon River, Washington. *River Research and Applications*, 32(7), 1481–1492.
- Hill, N. L., Trueman, J. R., Prévost, A. D., Fraser, D. J., Ardren, W. R., et Grant, J. W. (2019). Effect of dam removal on habitat use by spawning Atlantic salmon. *Journal of Great Lakes Research*, 45(2), 394–399.
- Hogg, R. S., Coghlan, S. M., Zydlewski, J., et Gardner, C. (2015). Fish community response to a small-stream dam removal in a Maine coastal river tributary. *Transactions of the American Fisheries Society*, 144(3), 467–479.
- Lau, J. K., Lauer, T. E., et Weinman, M. L. (2006). Impacts of channelization on stream habitats and associated fish assemblages in east central Indiana. *The American Midland Naturalist*, 156(2), 319–330.
- Magilligan, F., Nislow, K., Kynard, B., et Hackman, A. (2016). Immediate changes in stream channel geomorphology, aquatic habitat, and fish assemblages following dam removal in a small upland catchment. *Geomorphology*, 252, 158–170.
- Malavoi, J.-R., et Adam, P. (2007). La restauration hydromorphologique des cours d'eau : concepts et principes de mise en œuvre. *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, 50, 49–61.
- Martineau, G. (2007). *Les formes sculptées de la baie des Escoumins*, Dossier de présentation d'un site géologique exceptionnel. <https://gq.mines.gouv.qc.ca/documents/examine/MB200705/MB200705.pdf>
- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques. (2020). *Débits de crue aux stations hydrométriques du Québec*. <https://www.cehq.gouv.qc.ca/debits-crues/stations-hydrometriques.htm>
- Nakamura, F., Ishiyama, N., Sueyoshi, M., Negishi, J. N., 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(4), 544–554. <https://doi.org/10.1111/rec.12101>
- Nihouarn, S. (2009). *Portrait du bassin versant de la rivière Escoumins*. Rapport produit par le Conseil de bassin versant de la rivière des Escoumins (CBRE) et l'Organisme de bassin versant de la Haute-Côte-Nord (OBVHCN).
- Peterson, J. S. (2015). *Dam removal and safety in Canada: Creating opportunities through gaps in policy and process*. Mémoire de Maîtrise non publié. York University. <https://yorkspace.library.yorku.ca/xmlui/handle/10315/34808>
- Pizzuto, J. (2002). Effects of dam removal on river form and process. *BioScience*, 52(8), 683–691.
- Rice, S. P., Church, M., Wooldridge, C. L., et Hickin, E. J. (2009). Morphology and evolution of bars in a wandering gravel-bed river; lower Fraser river, British Columbia, Canada. *Sedimentology*, 56(3), 709–736.
- Vázquez-Tarrió, D., et Batalla, R. J. (2019). Assessing controls on the displacement of tracers in gravel-bed rivers. *Water*, 11(1598), 21.
- Wilkins, B. C., et Snyder, N. (2011). Geomorphic comparison of two Atlantic coastal rivers: Toward an understanding of physical controls on Atlantic salmon habitat. *River Research and Applications*, 27(2), 135–156.
- Wohl, E., Lane, S. N., et Wilcox, A. C. (2015). The science and practice of river restoration. *Water Resources Research*, 51(8), 5974–5997.

How to cite this article: Bouchard, M., et M. Boivin. (2023). Dynamiques hydrogéomorphologiques historiques et actuelles d'une rivière perturbée par les activités de la drave et analyse des impacts d'un démantèlement de barrage. *Canadian Geographies / Géographies canadiennes*, 1–13. <https://doi.org/10.1111/cag.12851>