

## Les défis de l'intégration des événements extrêmes et du climat futur dans la cartographie des zones de mobilité des rivières

### The challenges of integrating extreme events and future climate into the mapping of river mobility zones

Maxime Maltais<sup>1</sup>, Thomas Buffin-Bélanger<sup>1</sup> et Pascale Biron<sup>2</sup>

maxime\_maltais@uqar.ca, thomas\_buffin-belanger@uqar.ca,  
pascale.biron@concordia.ca

<sup>1</sup> Université du Québec à Rimouski, 300 allées des Ursulines, Rimouski, Canada

<sup>2</sup> Université Concordia, 1455 Boulevard Maisonneuve, Montréal, Canada

#### RÉSUMÉ

La cartographie de la mobilité des cours d'eau présente trois défis majeurs, l'absence d'un consensus sur les méthodes, l'impact des événements extrêmes sur la mobilité et l'intégration des changements climatiques dans la cartographie. Trois méthodes de calcul et de projection des taux de migration historiques ont été appliquées sur un tronçon de cours d'eau afin de déterminer laquelle correspond le mieux à la réalité observée. Les taux de migrations sont calculés sur une période test de 1964 à 2010 et projetés sur 11 ans à des fins de comparaison avec le tracé fluvial de 2021. L'utilisation des polygones d'érosion surestime la mobilité du chenal, alors que le *Planform Statistic Toolbox* et le *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* sont sensibles à la mobilité causée par des événements extrêmes. En complément des taux de migrations historiques, des méthodes permettant l'identification des tronçons dont le morphodynamisme est sensible aux événements extrêmes et leur intégration dans la cartographie de la mobilité des cours d'eau sont développées. De plus, l'utilisation des taux de migration historique permet la cartographie des tronçons mobiles actuellement, mais inclut difficilement la notion des changements climatiques et de leur influence sur la dynamique fluviale. La puissance spécifique, évaluée en climat actuel et futur permet d'identifier les tronçons de cours d'eau dont les seuils auxquels sont associés la mobilité des cours d'eau sont dépassés. Plus de 50 tracés fluviaux sur des rivières du Québec permettent d'ailleurs d'identifier des seuils de puissance spécifiques aux différentes régions du Québec.

#### ABSTRACT

Mapping river mobility presents three major challenges: the lack of consensus on methods, the impact of extreme events on mobility, and the integration of climate change into mapping. Three methods for calculating and projecting historical migration rates were applied to a river reach to determine which best corresponds to observed reality. Migration rates are calculated over a test period from 1964 to 2010 and projected over 11 years for comparison with the 2021 river's position. The use of erosion polygons overestimates channel mobility, while the *Planform Statistic Toolbox* and *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* are sensitive to mobility caused by extreme events. In addition to historical migration rates, methods are being developed to identify reaches whose morphodynamics are sensitive to extreme events, and to integrate them into river mobility mapping. Moreover, the use of historical migration rates enables the mapping of currently mobile reaches but does not easily include the notion of climate change and its influence on river dynamics. Specific stream power, assessed in current and future climates can be used to identify river reaches that exceed the thresholds associated with river mobility. More than 50 river routes on Quebec's rivers allow us to identify power thresholds specific to different regions of the province.

#### MOTS CLÉS

(5 mots-clés, par ordre alphabétique, séparés par une virgule)

Cartographie, Changements climatiques, Événements extrêmes, Mobilité, Puissance spécifique

Climate change, Extreme events, Mapping, Mobility, Specific stream power

---

## 1 INCLUSION DE LA MOBILITÉ DES RIVIÈRES DANS LA CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES

La cartographie des zones inondables est souvent basée sur une présomption de rivières statiques, mais de plus en plus de crues majeures dans le monde engendrent des ajustements morphogènes majeurs, ce qui démontre l'importance d'inclure une cartographie de la mobilité des rivières afin de bien caractériser le risque. Au Québec, des modifications récentes au cadre réglementaire confient au ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, des Forêts et des Parcs (MELCCFP) de nouvelles responsabilités en ce qui concerne la cartographie de la mobilité des cours d'eau. De zones de mobilité à « court terme » ( $M_{50}$ , 50 années) et à plus long terme ( $M_{\text{plaine}}$ ), définies selon des principes d'hydrogéomorphologie (Biron et al., 2014), doivent dorénavant être légalement délimitées et mises à jour régulièrement (aux 10 ans). Ces zones de mobilité devront ainsi être intégrées dans la nouvelle cartographie réglementaire des zones inondables afin de mieux planifier les usages. Plusieurs défis sont toutefois associés à cette intégration de la mobilité, soit 1) la nécessité d'établir un consensus sur les méthodologies employées, 2) l'impact des événements extrêmes et 3) l'intégration des changements climatiques.

## 2 L'INTÉGRATION DES ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES DANS LA CARTOGRAPHIE

Un des défis de la cartographie de la mobilité des rivières consiste en l'automatisation des méthodes, ce qui engendre plusieurs défis et enjeux liés à l'opérationnalisation de la cartographie. Selon la méthodologie développée par Biron et al. (2014), les taux de migrations historiques sont calculés à partir de tracés fluviaux diachroniques et projetés sur un horizon de temps de 50 ans pour créer la zone de mobilité  $M_{50}$ . Au Québec, les photographies aériennes couvrant la majorité de la province sont disponibles depuis les années 1950, à un intervalle d'environ 10 ans jusqu'à la fin du 20<sup>ème</sup> siècle, avec plus récemment un accès à des images satellitaires plus fréquentes.

Trois méthodes de calcul des taux de migrations et de cartographie de la zone de mobilité ont été explorées dans deux bassins versants du Québec qui ont été affectés par une crue majeure en 2011 liée au passage de l'ouragan Irène. L'approche par polygone d'érosion, le *Planform Statistic toolbox* et le *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* fournissent des taux de migration qui varient considérablement entre les méthodes (Himmelstoss et al., 2021; Lauer, 2006; Rhoades et al., 2009). Afin de déterminer quelle méthode correspondait le mieux aux processus de migration réellement observés, les taux de mobilité ont été calculés sur une période test de 46 ans (1964-2010) en utilisant 4 tracés fluviaux (1964, 1980, 1994 et 2010). Ces taux ont ensuite été projetés sur 11 ans, jusqu'à la date du tracé le plus récent (2021) afin de comparer les résultats de mobilité projetée et la mobilité réelle, incluant celle liée à l'événement majeur de 2011. Des transects ont été générés à intervalles de 10 m le long du chenal afin de comparer la distance correspondant au déplacement réel et la distance de mobilité projetée. La Figure 1 montre les taux de mobilité prédits par chacune des méthodes, centrés sur la mobilité réelle observée entre 2010 et 2021, les valeurs supérieures à l'axe de référence représentant une surestimation de la mobilité et les valeurs inférieures représentent une sous-estimation. En août 2011, les précipitations associées à l'ouragan Irène ont engendré un débit de 999 m<sup>3</sup>/s (soit une récurrence de plus de 100 ans), ce qui a créé des foyers d'érosion dans des tronçons historiquement stables et détruit plusieurs enrochements le long du chenal. Ces observations montrent que l'utilisation de taux de migration historiques moyens reflète de manière imparfaite la migration que peut générer un événement extrême et que les outils de cartographie testés intègrent difficilement les événements extrêmes.

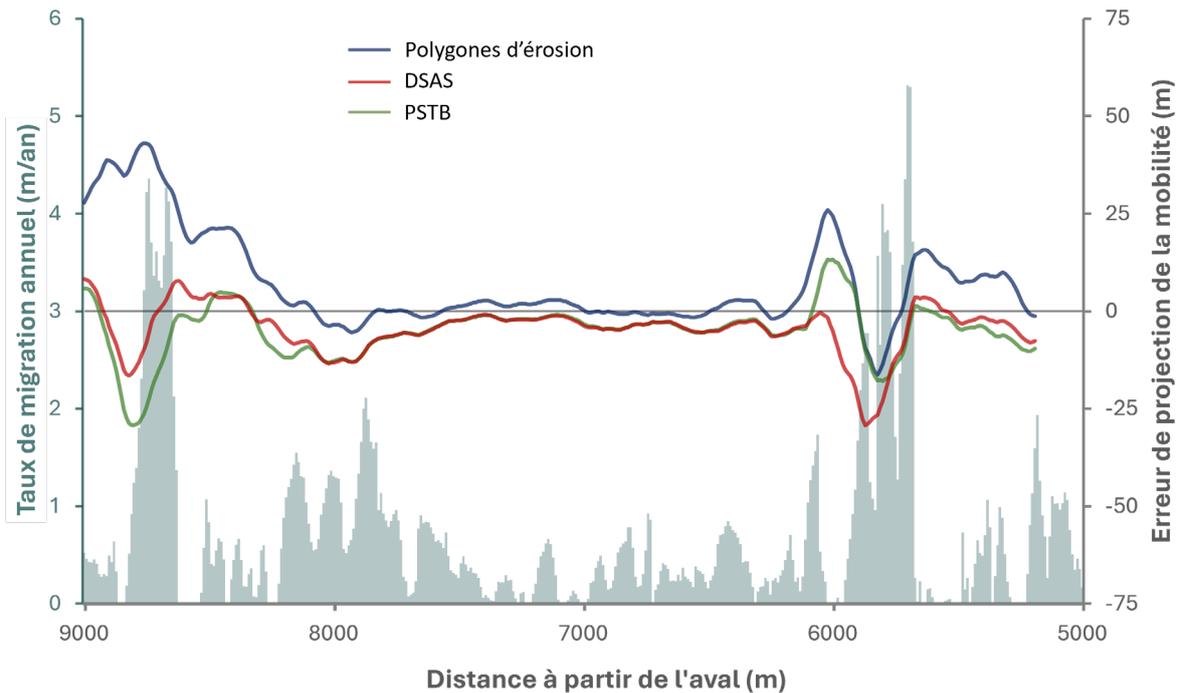


Figure 1. Erreur de projection de la mobilité selon les méthodes de polygones d'érosion, le Planform Statistic Toolbox et DSAS. Les valeurs sont centrées sur la mobilité observée entre 2011 et 2021. Les valeurs près de zéro indiquent une bonne adéquation entre la mobilité réelle et la mobilité projetée, les valeurs négatives indiquent une sous-estimation et les valeurs positives une surestimation.

Cette recherche, toujours en cours, vise à développer des méthodes permettant l'intégration des événements extrêmes dans la cartographie de la mobilité par l'identification des tronçons dont le morphodynamisme est sensible aux crues majeures et par l'utilisation de photographies satellitaires à haute résolution temporelle. Nous disposons de tracés fluviaux historiques de plus de 50 cours d'eau au Québec totalisant plus de 1 600 km linéaires. Ces données sont croisées avec des données de débits historiques, de modèles de précipitations et d'archives de sinistres afin d'identifier les événements extrêmes ayant impacté la mobilité des cours d'eau depuis les années 1950. Il sera ainsi possible d'identifier les événements météorologiques ayant engendré de forts taux de migration et de cibler le niveau de sensibilité des cours d'eau aux événements extrêmes en fonction des styles fluviaux, des unités de paysages ou des régions physiographiques. Les cours d'eau pourront ensuite être classifiés selon leur taux de mobilité historique et leur taux de mobilité événementiels. Sur les tronçons sensibles aux événements extrêmes, pour lesquels des photos satellitaires sont disponibles, des taux de migrations événementiels permettent de moduler le  $M_{50}$  ou d'ajouter une zone de mobilité à la cartographie réglementaire qui intègre les réponses morphologiques significatives à la suite d'une crue de grande ampleur.

### 3 MOBILITÉ DES COURS D'EAU EN CLIMAT FUTUR

L'approche de cartographie du  $M_{50}$  par l'utilisation des taux de migration historique permet de cibler et de cartographier les tronçons de cours d'eau mobiles enveloppant en partie la variabilité liée au changement climatique (Buffin-Bélanger et al., 2015), mais l'identification de ceux dont les taux de migrations sont plus susceptibles d'être modifiés en climat futur n'est pas considérée à l'heure actuelle. Il est reconnu depuis longtemps que les changements climatiques affecteront les régimes hydrologiques et les dynamiques morphologiques des cours d'eau (Ashmore & Church, 2001), or peu d'outils sont actuellement disponibles pour anticiper les changements probables dans la mobilité des cours d'eau.

Un second projet propose d'utiliser l'évaluation de la puissance spécifique, qui est fonction du débit plein-bord (récurrence de 2 ans), de la pente et de la largeur des cours d'eau, pour examiner la sensibilité de la mobilité des cours d'eau dans un climat futur (Fryirs, 2017; Juracek & Fitzpatrick, 2022). Cette variable est une mesure d'énergie déployée par le cours d'eau, notamment utilisée pour déterminer l'ampleur de l'action géomorphologique au sein du chenal ainsi que sa sensibilité à l'érosion (Bizzi & Lerner, 2015).

---

Dans un premier temps, des seuils de dépassement de la puissance spécifique auxquels est associée la mobilité des cours d'eau sont explorés à partir des tracés fluviaux couvrant plus de 1600 km. De tels seuils sont déjà identifiés dans la littérature (entre 25 et 35 W/m<sup>2</sup>), mais la variabilité et la fiabilité de ces estimations peut varier en fonction du régime hydroclimatique et morphosédimentaire des rivières. Les tracés fluviaux dont nous disposons permettent d'identifier la valeur de puissance spécifique à laquelle est associée la mobilité dans les différentes régions physiographiques du Québec.

Dans un second temps, les prévisions de débit en climat futur de débits de récurrence 2 ans, disponibles pour l'ensemble du Québec méridional ([Atlas Hydroclimatique du Québec](#)), seront combinées aux données de pentes et de largeurs de cours d'eau disponibles dans le Cadre de Référence Hydrologique du Québec (CRHQ) afin de calculer la puissance spécifique en climat futur. Les tronçons qui présentent des valeurs de puissance spécifique correspondant aux valeurs identifiées sont ceux présentant un potentiel de mobilité en climat actuel. Il sera alors possible d'identifier les tronçons dont la puissance spécifique excède les seuils de dépassement entre le climat actuel et le climat futur. Cette démarche fournit une cartographie à large échelle des tronçons où des processus liés à la mobilité sont en cours ou susceptibles de s'activer avec les changements climatiques et permet de moduler ou d'anticiper l'effet de ces processus dans la cartographie réglementaire et sa mise à jour.

## BIBLIOGRAPHIE

- Ashmore, P., & Church, M. (2001). *The impact of climate change on rivers and river processes in Canada* (555; p. 555). <https://doi.org/10.4095/211891>
- Bizzi, S., & Lerner, D. N. (2015). The use of stream power as an indicator of channel sensitivity to erosion and deposition processes. *River Research and Applications*, 31, 16-27. <https://doi.org/10.1002/rra>
- Buffin-Bélanger, T., Biron, P. M., Larocque, M., Demers, S., Olsen, T., Choné, G., Ouellet, M. A., Cloutier, C. A., Desjarlais, C., & Eyquem, J. (2015). Freedom space for rivers : An economically viable river management concept in a changing climate. *Geomorphology*. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.05.013>
- Fryirs, K. A. (2017). River sensitivity : A lost foundation concept in fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(1), 55-70. <https://doi.org/10.1002/esp.3940>
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. (2021). Digital Shoreline Analysis System ( DSAS ) Version 5.1 User Guide : U.S. Geological Survey Open-File Report 2021-1091. *U.S. Geological Survey*, 104.
- Juracek, K. E., & Fitzpatrick, F. A. (2022). Geomorphic responses of fluvial systems to climate change : A habitat perspective. *River Research and Applications*, 38(4), 757-775. <https://doi.org/10.1002/rra.3938>
- Lauer, J. W. (2006). *Channel Planform Statistics Toolbox*. National Center for Earth-surface Dynamics. Minneapolis, MN 55414. [http://www.nced.umn.edu/system/files/PlanformStatisticsTools\\_0.ppt](http://www.nced.umn.edu/system/files/PlanformStatisticsTools_0.ppt)
- Rhoades, E. L., O'Neal, M. A., & Pizzuto, J. E. (2009). Quantifying bank erosion on the South River from 1937 to 2005, and its importance in assessing Hg contamination. *Applied Geography*, 29(1), 125-134. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.08.005>