

Brisons la glace ! Intégration des connaissances académiques, gestionnaires et riveraines pour cartographier les inondations

Breaking the ice! Integrating academic, local and management knowledge into flood mapping

Zoé Martineu¹, Thomas Buffin-Bélanger¹, Mélanie Trudel² et Julie Ruiz³.

¹ Université du Québec à Rimouski, zoe.martineu@uqar.ca, thomas_buffin-belanger@uqar.ca

² Université de Sherbrooke, melanie.trudel@usherbrooke.ca

³ Université du Québec à Trois-Rivières, julie.ruiz@uqtr.ca

RÉSUMÉ

Les embâcles de glaces constituent des phénomènes récurrents dans plusieurs rivières nordiques, dont celles du Québec (Canada). Les augmentations rapides et de fortes magnitudes du niveau d'eau qu'ils peuvent entraîner ont des impacts économiques et sociaux majeurs sur les communautés riveraines. À ce jour, leur prévention et leur mitigation demeurent difficiles, en raison de leur imprévisibilité et les limites des approches académiques les plus couramment utilisées. Pour enrichir et bonifier les connaissances générées par ces approches, l'intégration des connaissances sera utilisée comme cadre conceptuel. Ainsi, des connaissances académiques, de gestionnaires et de personnes riveraines seront mobilisées afin de cartographier les zones inondables en lien avec les embâcles de glace sur la rivière Mitis (Québec, Canada). L'intégration permettra de s'attarder à la diminution ou l'augmentation des incertitudes dans la cartographie de ces inondations, en fonction de la convergence et de la densité des connaissances. Devant la complexité de l'étude des embâcles de glace, l'intérêt de l'approche est de proposer un outil de gestion (cartographie) qui intègre différentes connaissances (riveraines, gestionnaires et académiques), mais aussi différentes méthodes pour avoir une vision plus complète du phénomène.

ABSTRACT

Ice jams are a recurring phenomenon in many northern rivers, including those in of Québec (Canada). The rapid, high magnitude increases in water level that they can cause have major economic and social impacts on riverside communities. To date, prevention and mitigation remain difficult, given their unpredictability and the limitations of the most commonly used academic approaches. In order to feed into and enhance the knowledge generated by these approaches, knowledge integration will be used as a conceptual framework. Thus, academic, managerial and local knowledge will be mobilised in order to map the flood zones associated with ice jams on the Mitis River (Québec, Canada). Integration will allow focus on the reduction or increase of uncertainties in the mapping of these floods, depending on the convergence and density of knowledge. Given the complexity of the study of ice jams, the interest of the approach is to propose a management tool (mapping) that integrates different types of knowledge (local, managerial and academic), as well as different methods to obtain a more complete view of the phenomenon.

MOTS CLÉS

Cartographie, embâcle de glace, gestion du risque, inondations, intégration des connaissances.

Flooding, ice jams, knowledge integration, mapping, risk management.

1 LES EMBACLES DE GLACE

La glace de rivière constitue une composante structurante des dynamiques fluviales des rivières nordiques, comme celles du Québec (Morin *et al.*, 2015; Prowse *et al.*, 2007). En conséquence, les embâcles de glace y sont des phénomènes hydrologiques communs (Lubiniecki *et al.*, 2024; Morin *et al.*, 2015). La formation d'embâcles de glace peut entraîner des augmentations rapides et de fortes magnitudes des niveaux d'eau créant des épisodes d'inondations conséquents avec des dommages de millions de dollars pour les propriétés et les entreprises des communautés riveraines, en plus de compromettre la sécurité publique (Das *et al.*, 2023; Kovachis *et al.*, 2017) (voir Figure 1). Étant donné que ces augmentations sont encore difficiles à estimer exactement pour leur intégration dans des outils réglementaires, la planification ou l'exécution de mesures d'urgence, telles que l'évacuation de la population riveraine ou la dislocation artificielle des embâcles en sont grandement impactées (Massie *et al.*, 2002).

Les connaissances les plus couramment utilisées dans la gestion des inondations sont celles provenant d'approches académiques des sciences naturelles, comme les modélisations hydrauliques, l'utilisation d'étendues inondées d'événements passés, etc. (Kovachis *et al.*, 2017). Pourtant, l'imprévisibilité de la plupart des événements dynamiques liés à la glace rend généralement difficile la collecte des données pour calibrer les modèles hydrauliques et alimenter l'historique d'étendues inondées (Duguay *et al.*, 2023; Pagneux et Snorrason, 2012). De plus, étant donné que les embâcles de glace sont complexes et dépendent de plusieurs paramètres (paramètres météorologiques, caractéristiques du couvert de glace, morphologie du chenal, présence d'infrastructures, etc.), chaque embâcle qui se produit peut être considéré comme unique (Das et Lindenschmidt, 2021). Il devient alors également complexe de bien représenter la réalité et de prédire l'occurrence d'embâcles de glace sur un territoire donné (Das et Lindenschmidt, 2021).



Figure 1. Embâcle sur la rivière Matane (Québec, Canada) en avril 2014 selon deux prises de vue, de l'amont vers l'aval. La prise de vue (a) illustre des habitations impactées par cet embâcle ; la prise de vue (b) montre son impact sur un pont et une route.

Alors que les connaissances académiques sont essentiellement générées par des processus formalisés, les connaissances gestionnaires et riveraines peuvent aussi être générées à travers des règles et des normes culturelles, des interactions entre l'humain et l'environnement ou l'expérience personnelle (Hermans *et al.*, 2022). Devant la complexité des inondations en lien avec les embâcles de glace, l'intégration de connaissances académiques, gestionnaires et riveraines provenant de différentes méthodes (modélisation hydraulique, mesures sur le terrain, entretiens, etc.) constitue une approche pertinente. En effet, elle permettrait de combler et de bonifier les connaissances générées par les approches académiques (Hermans *et al.*, 2022; Mackinson, 2001; Raymond *et al.*, 2010).

2 INTEGRATION DES CONNAISSANCES

Ce projet explore l'intégration des connaissances comme cadre conceptuel pour la cartographie des zones inondables en lien avec les embâcles de glace. Son objectif est de délimiter les zones inondables en lien avec les embâcles de glace par l'intégration de connaissances académiques, de gestionnaires et de personnes riveraines sur une portion de la rivière Mitis, qui se situe dans la région du Bas-Saint-Laurent (Québec, Canada). D'abord, des méthodes provenant de différents domaines seront utilisées. Ensuite, les différentes connaissances recueillies seront intégrées dans une cartographie des zones inondables en lien avec les embâcles de glace.

2.1 Connaissances intégrées

Plusieurs sources de connaissances seront utilisées, soit des connaissances académiques (indices biogéomorphologiques et géomorphologiques, analyse morphologique, modélisation hydraulique et observation sur le terrain du couvert de glace), puis des connaissances provenant de personnes riveraines et de gestionnaires (historique, récurrence, observations, délimitations).

Une campagne de terrain a été effectuée sur le secteur de la rivière Mitis afin d'y relever les indices biogéomorphologiques et géomorphologiques pouvant témoigner de la spatialisation et la magnitude de la dynamique glacielle. Les indices biogéomorphologiques correspondent aux cicatrices laissées sur les arbres et les arbustes riverains par des blocs de glace lors d'épisodes d'embâcles de glace. Ainsi, les cicatrices glacielles présentes sur les arbres et les arbustes ont été relevés dans le secteur d'étude, avec leur position et hauteur d'eau. Les indices géomorphologiques correspondent quant à eux à des formes induites par la glace de rivière (Boucher *et al.*, 2009; Morin *et al.*, 2015). Ces indices renseignent sur la spatialisation (position) et la magnitude (hauteur d'eau) des embâcles de glace dans les tronçons à l'étude (Boucher *et al.*, 2009; Lagadec *et al.*, 2015; Lubiniecki *et al.*, 2024).

En parallèle, une analyse morphologique sera appliquée sur la rivière Mitis. En fonction du rétrécissement du chenal, la sinuosité, la présence d'une île, la présence d'un pont, la confluence de rivières et les ruptures de pente, cette analyse permet de déterminer les sites morphologiquement prédisposés à la formation d'un embâcle de glace (De Munck *et al.*, 2017).

Puis, une modélisation hydraulique stochastique à l'aide du modèle HEC-RAS permettra d'estimer les hauteurs d'eau maximales pouvant être atteinte lors d'embâcles de glace.

L'observation ponctuelle de la dynamique glacielle, comme la formation d'embâcles de glace, sera réalisée à l'aide de plusieurs instruments de mesures sur le terrain, soit des caméras de chasse et des drones. Cette observation se fera durant l'hiver 2025, mais dépend du dynamisme du couvert de glace, donc l'étendue des résultats et de leur intégration en dépendra également.

En ce qui concerne les connaissances riveraines et gestionnaires, les personnes à rencontrer pour l'enquête ont été recrutées à l'automne 2024 avec l'intention de rencontrer des personnes « expertes » qui ont des connaissances approfondies sur les embâcles de glace (gestionnaires ou personnes riveraines). En voulant obtenir plusieurs entrées dans la communauté pour cibler ces personnes, différentes approches ont été utilisées pour le recrutement (Ellard-Gray *et al.*, 2015; Mackinson, 2001). Étant donné que le recrutement des gestionnaires est relié à leur poste de travail et les tâches qui y sont reliées (pompier.ère en chef, membre d'un comité de surveillance des rivières, employé.e d'un organisme de bassin-versant, etc.), ces personnes ont été contactées dans le cadre de leur travail. En revanche, les personnes riveraines ont été mobilisées par du porte-à-porte dans des secteurs enclins à la formation d'embâcles de glace et de l'affichage dans des lieux publics. Puis, les personnes recrutées ont également été invitées à partager le contact d'autres personnes de la communauté riveraine qui auraient des connaissances à partager (effet « boule de neige »).

Ensuite, ces personnes seront enquêtées en deux temps, d'abord par un questionnaire permettant d'établir leur type de connaissances à l'automne 2024, puis par un entretien semi-dirigé individuel à l'hiver 2025. Dans le cadre de l'intégration des connaissances, l'évaluation du type des connaissances est une étape importante à faire au début de l'intégration (Raymond *et al.*, 2010). Le questionnaire a donc eu pour objectif de relever l'étendue des connaissances et cibler les personnes expertes pour les entretiens semi-dirigés. Il contenait des questions sur le portrait de la personne interrogée, l'entendue de ses connaissances, comment elles ont été générées, comment elles sont articulées et comment elles sont accessibles (Raymond *et al.*, 2010).

À l'hiver 2025, les entretiens seront réalisés avec les personnes expertes ciblées par le questionnaire. Autour d'une carte, les personnes seront invitées à discuter des embâcles qu'elles ont vécues et des inondations reliées.

2.2 Résultats préliminaires et limites des différentes connaissances

Au printemps 2025, les connaissances académiques, gestionnaires et riveraines recueillies seront intégrées pour produire une cartographie des zones inondables en lien avec les embâcles de glace dans les secteurs identifiés de la rivière Mitis. L'intégration implique à la fois une analyse de la spatialité des informations (densité variable des informations le long du tronçon) et une analyse de la convergence ou non des informations.

Les cicatrices glacielles et la modélisation permettront une évaluation de la spatialité des hauteurs d'eau, et avec les formes d'érosion glacielle, elles renseigneront sur les dynamiques d'embâcle de glace. Ces données permettront d'avoir des « enveloppes » de zones inondées dans le passé mais comporteront des incertitudes là où peu de cicatrices sont observées. Les connaissances des personnes riveraines et des gestionnaires recueillies dans les entretiens semi-dirigés permettront aussi d'identifier et de cartographier les zones inondées par embâcles de glace comportant des incertitudes et de la variabilité spatiale. Il en va de même pour l'analyse morphologique et l'observation du couvert de glace.

L'intégration permettra de conforter et de réduire les incertitudes, mais aussi de les augmenter selon la convergence et la densité des connaissances. Si au départ, plusieurs méthodes et connaissances voulaient être intégrées, l'analyse des résultats permettra d'explorer leurs limites dans le contexte de la rivière Mitis et d'évaluer la possibilité de leur application dans d'autres contextes.

3 INTERET DE L'APPROCHE

Les différentes connaissances provenant de ces méthodes de collecte de données ont chacune leurs limites. Devant la complexité de l'étude des embâcles de glace, l'intérêt de l'approche est d'intégrer des connaissances (riveraines, gestionnaires et académiques), mais aussi différentes méthodes. En effet, les différents domaines qui observent le même phénomène (ici les inondations) ont souvent tendance à travailler en silos (Gachon, 2019). Pourtant, l'intersectionnalité (par le croisement d'approches de différents domaines) permet d'augmenter la résilience sociétale et environnementale, tout comme le renforcement de l'adaptabilité et l'innovation collective (Gachon, 2019).

Ce projet permettra d'améliorer la compréhension et la gestion des inondations par embâcles de glace en ayant une vision plus holistique. Ainsi, le projet souligne la plus-value de l'intégration de ces connaissances dans un outil de gestion (cartographie) pour alimenter la réflexion sur la pertinence de leur prise en compte en gestion de l'environnement.

BIBLIOGRAPHIE

- Boucher, É., Bégin, Y., & Arseneault, D. (2009). Impacts of recurring ice jams on channel geometry and geomorphology in a small high-boreal watershed. *Geomorphology*, 108(3), 273-281. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.02.014>
- Das, A., Budhathoki, S., & Lindenschmidt, K.-E. (2023). Development of an ice-jam flood forecasting modelling framework for freeze-up/winter breakup. *Hydrology Research*, 54(5), 648-662. <https://doi.org/10.2166/nh.2023.073>
- Das, A., & Lindenschmidt, K.-E. (2021). Modelling climatic impacts on ice-jam floods: A review of current models, modelling capabilities, challenges, and future prospects. *Environmental Reviews*, 29(3), 378-390. <https://doi.org/10.1139/er-2020-0108>
- De Munck, S., Gauthier, Y., Bernier, M., Chokmani, K., & Légaré, S. (2017). River predisposition to ice jams: A simplified geospatial model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17(7), 1033-1045. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-1033-2017>
- Duguay, J., Lindenschmidt, K.-E., Trudel, M., & Pruneau, A. (2023). Aerial photogrammetry to characterise and numerically model an ice jam in Southern Quebec. *Hydrology Research*, 54(11), 1329-1343. <https://doi.org/10.2166/nh.2023.010>
- Ellard-Gray, A., Jeffrey, N. K., Choubak, M., & Crann, S. E. (2015). Finding the Hidden Participant: Solutions for Recruiting Hidden, Hard-to-Reach, and Vulnerable Populations. *International Journal of Qualitative Methods*, 14(5), 1609406915621420. <https://doi.org/10.1177/1609406915621420>
- Gachon, P. (2019). Leçons à tirer des inondations récentes : L'importance de l'intersectorialité. In *L'état du Québec 2020* (Del Busso, p. 148-155). Institut du Nouveau Monde.
- Hermans, T. D. G., Šakić Trogrlić, R., Van Den Homberg, M. J. C., Bailon, H., Sarku, R., & Mosurska, A. (2022). Exploring the integration of local and scientific knowledge in early warning systems for disaster risk reduction: A review. *Natural Hazards*, 114(2), 1125-1152. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05468-8>
- Kovachis, N., Burrell, B. C., Huokuna, M., Beltaos, S., Turcotte, B., & Jasek, M. (2017). Ice-jam flood delineation: Challenges and research needs. *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 42(3), 258-268. <https://doi.org/10.1080/07011784.2017.1294998>
- Lagadec, A., Boucher, É., & Germain, D. (2015). Tree ring analysis of hydro-climatic thresholds that trigger ice jams on the Mistassini River, Quebec. *Hydrological Processes*, 29(23), 4880-4890. <https://doi.org/10.1002/hyp.10537>
- Lubiniecki, T., Laroque, C. P., & Lindenschmidt, K.-E. (2024). Identifying ice-jam flooding events through the application of dendrogeomorphological methods. *River Research and Applications*, 40(2), 191-202. <https://doi.org/10.1002/rra.4222>
- Mackinson, S. (2001). *Integrating Local and Scientific Knowledge: An Example in Fisheries Science*. University of California Press. <https://doi.org/10.1525/9780520321397>
- Massie, D. D., White, K. D., & Daly, S. F. (2002). Application of neural networks to predict ice jam occurrence. *Cold Regions Science and Technology*, 35(2), 115-122. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(02\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(02)00056-3)
- Morin, S., Boucher, E., & Buffin-Belanger, T. (2015). The spatial variability of ice-jam bank morphologies along the Mistassini River (Quebec, Canada) : An indicator of the ice-jam regime? *Natural Hazards*, 77(3), 2117-2138. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1693-y>
- Pagneux, E., & Snorrason, Á. (2012). High-accuracy mapping of inundations induced by ice jams: A case study from Iceland. *Hydrology Research*, 43(4), 412-421. <https://doi.org/10.2166/nh.2012.114>
- Prowse, T. D., Bonsal, B., Duguay, C., & Lacroix, M. (2007). River-ice break-up/freeze-up: A review of climatic drivers, historical trends and future predictions. *Annals of Glaciology*, 46, 443-451. <https://doi.org/10.3189/172756407782871431>
- Raymond, C. M., Fazey, I., Reed, M. S., Stringer, L. C., Robinson, G. M., & Evely, A. C. (2010). Integrating local and scientific knowledge for environmental management. *Journal of Environmental Management*, 91(8), 1766-1777. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.03.023>