Comprendre les embâcles de glace et cartographier les inondations liées : l'apport de l'intégration des connaissances riveraines, gestionnaires et académiques

Mémoire présenté

dans le cadre du programme de maîtrise en géographie (profil recherche)

en vue de l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)

PAR

© ZOÉ MARTINEU

Juin 2026

Composition du jury :

Guillaume Marie, président du jury, Université du Québec à Rimouski

Thomas Buffin-Bélanger, directeur de recherche, Université du Québec à Rimouski

Mélanie Trudel, codirectrice de recherche, Université de Sherbrooke

Julie Ruiz, codirectrice de recherche, Université du Québec à Trois-Rivières

Étienne Boucher, examinateur externe, Université du Québec à Montréal

Dépôt initial le 18 mars 2026 Dépôt final le 30 juin 2026

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

REMERCIEMENTS

Premièrement, merci à la communauté de Sainte-Angèle-de-Mérici et aux gestionnaires qui œuvrent sur la rivière Mitis. Je vous avais nommé que votre participation était précieuse et je le pense sincèrement, les rencontres que j'ai faites avec vous ont nourri non seulement cette recherche, mais moi aussi. Vous connaissez votre rivière, et si je n'ai jamais pu y voir d'embâcle durant ma maîtrise, j'ai eu le privilège d'en avoir vu à travers vos yeux et vos connaissances. Mille fois merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir partagé vos connaissances.

Merci au Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada Alliance, la Ville de Sherbrooke, la MRC de Coaticook, la MRC du Haut Saint-François et JFSA Inc. pour le financement du projet.

Merci aux membres du jury qui ont rehaussé la qualité de ce travail grâce à leurs commentaires méticuleux, réfléchis et forts pertinents.

Merci à mon équipe de direction : Thomas-Buffin-Bélanger, Mélanie Trudel et Julie Ruiz. Durant ma maîtrise, j'avais vraiment l'impression de faire un travail d'équipe (où malgré tout je faisais la majorité du travail). Je vous l'avais déjà mentionné, mais je pense que cela vaut la peine de le souligner ici aussi. Vos commentaires et nos discussions m'ont permis d'être enlignée à toutes les étapes du projet. Vous m'avez laissé assez de liberté pour que je m'y sente réellement épanouie, j'en suis vraiment reconnaissante. Si l'intégration des connaissances est complexe, l'implication marquée de chacune et chacun d'entre vous l'a certainement rendue plus fluide pour moi. Cette équipe de direction me met des standards en tête pour la suite, qui je pense pourraient être difficiles à retrouver dans cet équilibre particulier de vos trois personnalités. Merci Mélanie pour ton enthousiasme, ta franchise parfois déconcertante et tes commentaires pertinents qui m'étaient rassurants pour mettre un

demi-pied (plutôt un quart) dans l'ingénierie qui m'était inconnue. Merci Julie, de m'avoir si bien guidée dans les méthodes qualitatives (et arrêtée au bon moment dans certains virages). Tes commentaires et ton point de vue étaient justes et ont profondément enrichi le projet, merci d'y être embarquée ! Thomas… je vais te faire un paragraphe isolé car ta contribution vaut la peine d'être soulignée à sa juste valeur.

Thomas, tu n'es pas parfait, mais l'effort constant que tu mets à évoluer et à t'améliorer est remarquable. Beaucoup de personnes peuvent dire « ma porte est toujours ouverte », mais dans ton cas, il n'y avait même plus de porte (bon, sauf quand tu es en rencontre). Merci de m'avoir acceptée comme je suis, d'avoir été autant à l'écoute et de m'avoir permis d'affirmer mes besoins. On a développé à travers le temps un lien de confiance qui me surprend, alors que je ne suis pas la plus grande fan des relations avec les personnes en position d'autorité. Tu représentes pour moi un allié et un modèle dans le milieu académique et je suis vraiment reconnaissante d'avoir travaillé avec toi. Cela fait plusieurs années que je suis arrivée dans le labo et ta bienveillance m'a permis de m'y sentir accueillie et épanouie. Puis merci de m'avoir accordé de la liberté dès le départ dans le projet, cela m'a permis d'en être passionnée. Merci pour tes commentaires à travers le projet, qui étaient toujours pertinents et qui sans aucun doute laissaient transparaitre tes connaissances. Merci de m'avoir contaminée par ton enthousiasme envers la fameuse science et ta vision de celle-ci. Merci !!!

Merci à l'équipe du Laboratoire de géomorphologie et de dynamique fluviale, sans qui ces dernières années auraient été bien grises, et à qui je dois en grande partie l'envie de commencer une maîtrise et de poursuivre mes études dans un milieu académique parfois froid. Merci de m'avoir acceptée et accueillie comme je suis, je m'y suis sincèrement sentie épanouie dans ces dernières années, en grande partie grâce à notre dynamique d'équipe. La relation que j'ai avec chacun et chacune d'entre vous est très précieuse pour moi et m'a profondément nourri. La pluralité de vos personnalités est certainement ce qui rend le laboratoire aussi charmant, merci d'être vous, tout simplement !

Des remerciements particuliers à Lucie Lepont, Félix Lachapelle, Samuel Laroche, Audrey Piette, Étienne Gariépy-Girouard, Virginie Bile, Maxime Maltais, Pierre-Ludovic

Langelier et Matthieu Prugne. Là, c'est LE moment où on remercie, laissez-moi vous dire que je vais me lâcher lousse ! Lucie, sans toi, cette merveilleuse aventure n'aurait pas été la même et certainement pas aussi merveilleuse. Merci pour ton écoute, tes conseils, tes relectures de courriel, toutes nos conversations divagantes et ton amitié bien précieuse (je ne pourrais jamais assez te remercier). Notre amitié m'a en grande partie permis de garder le cap vers la fin, mais terminer cette maîtrise veut aussi dire qu'on ne sera plus jamais autant dans le même espace à passer autant de temps ensemble… cela me rend déjà nostalgique. Félix, merci de m'avoir appris à être positive, tu m'as permis de mettre de côté mon cynisme et la méthode sandwich en est la preuve. Merci pour tes blagues, les terrains tant plaisants et nos discussions. J'emporte un peu de ta philosophie de vie avec moi et j'en suis vraiment reconnaissante (ça a percolé !). Sam, merci pour tous ces terrains (pour ne pas nommer le *obvious*), mais surtout pour ta personne, tes petites blagues gentilles, nos discussions...merci pour ces merveilleux moments passés ensembles (surtout ceux dehors, les deux pieds dans la rivière) et ta philosophie de terrain ! Audrey, travailler avec toi c'était naturel, fluide et rigoureux, j'ai vraiment apprécié notre dynamique (et nos rigolades !). Ton honnêteté et ta façon de connaître tes limites (et de les affirmer !) est aussi quelque chose dont je m'inspire, merci pour cela. Étienne, merci pour ces belles discussions, ta vision du milieu académique, tes conseils et ta bienveillance. Ta façon de travailler a certainement percolé à travers le labo, merci pour toutes tes initiatives qui ont fait que je m'y suis sentie inclue dès le départ. Virginie, Virginie, Virginie ! Quand on s'est rencontrées dans le cours de fluvial, je n'aurais jamais pensé qu'on allait passer autant de moments privilégiés comme cela ! Je me sens choyée de notre amitié et de notre lien qui s'est construit à travers le temps. Max, le terrain sur la Du Sud était un des premiers que j'ai fait au labo et ta philosophie de terrain et d'hydrogéomorphologie m'a tout de suite charmée et confirmé mes choix. Merci pour tes connaissances, ta bienveillance, ta solidité à traverser un seuil (et à s'assurer qu'on le traverse avec toi) et nos belles discussions lyonnaises. Tu restes loin, mais quand on est avec toi, ta présence fait toute la différence. PL, on était dans la même lancée pendant notre maîtrise, puis je suis contente qu'on ait pu avoir ce parcours parallèle et se partager nos ressentis et écueils à travers ça. Je pense que tu es quelqu'un qui m'a constamment surprise dans ta

complexité, je me sens vraiment choyée d'y avoir eu accès ! Matthieu, ton lâcher-prise devant la réalisation de ton terrain (et de ce qui n'était finalement pas réalisable) est quelque chose qui m'a marquée et qui j'espère je pourrai mettre en œuvre à mon tour, merci.

Merci à toutes les personnes qui m'ont aidé sur le(s) terrain(s) pour ma maîtrise, soit Samuel Laroche, Mahé Louat, Marilou Temblay, Mathieu Chouinard, Audrey Piette, Félix Lachapelle, Lucie Lepont et Alex Delisle. Merci infiniment pour ces beaux moments passés ensembles, ces discussions qui ont enrichit mon projet et pour votre dynamique si agréable.

Merci également à l'équipe de recherche de Sherbrooke, plus particulièrement à Victoria Litalien, Elisabeth Lapierre, Cheick Doumbia, Sergio Croquer Perez, Yanis Papin, Arthur Labrecque et Olivier Crête-Belzile pour les journées de terrain sympathiques et vos réflexions par rapport aux résultats du projet, vos points de vue ont certainement enrichi le mien, merci d'avoir pris le temps de me les partager.

Merci à mes ami.es qui m'ont enduré à travers mon projet, alors qu'il monopolisait parfois la conversation…. Merci à Béatrice Noël, je me sens privilégiée que notre méfiance se soit développée en une si belle et riche amitié, merci pour tous ces agréables moments passés ensemble qui remontaient le moral (Francfort était presque agréable avec ta présence). Merci à Mahé Louat, en plus de notre amitié, on pouvait se partager notre parcours de combattantes des verbatims, ça m'a aidé à traverser cette pénible étape ! Merci à Kalyana Laporte-Salois, Véronica St-Arneault et Émilie Bourrassa, pour votre amitié. Les travaux qu'on a faits ensemble au baccalauréat m'ont certainement mis la barre haute dans mes standards de cohésion d'équipe : vous êtes la raison pour laquelle j'adore les travaux d'équipe. D'ailleurs, merci à ma première coéquipière Maude Gélinas-Roy : tu as été mon premier modèle d'écriture scientifique, une partie de ma rigueur est due à toi. Merci à Marie-Soleil Pétrin et Guillaume Lapeyre de m'avoir endurée à la maison et de m'avoir permis de m'y être sentie chez moi. Merci à mes grandes amies Leyli, Amayel, Rachel et Mika : vous m'inspirez et vous resterez toujours des modèles pour moi, je serai toujours reconnaissante d'avoir grandi avec vous.

Merci à ma famille, mes parents et mon frère pour leur soutien à distance. Ulysse, tu es mon frère préféré et ton enthousiasme pour la science me rejoint parfaitement. J'adore nos discussions, malgré qu'elles fassent parfois ressortir notre côté cynique et « ostineux ». Merci à ma mère et mon père qui ont initié mon esprit critique. Merci à mes grands-mères et ma mère d'être des exemples impressionnants de femme.

Finalement, merci à Marc-Aurèle Vallée, pour ton support infini, ton écoute, ton humour et la façon dont tu me remets les pieds sur terre. Merci pour tous ces repas cuisinés avec tant de bienveillance, sans toi je n'aurais certainement pas aussi bien mangé et eu autant de carburant pour continuer. Merci pour tes conseils à travers mes incertitudes et merci de m'avoir endurée (c'était surtout toi qui as enduré la monopolisation de la conversation) à travers les réflexions qui m'envahissaient et d'avoir pris le temps de les déconstruire avec moi.

RÉSUMÉ

Les embâcles de glace peuvent engendrer d'importantes inondations et sont des processus complexes et difficiles à prévoir, en raison des nombreuses variables qui entrent en jeu dans leur formation. Afin de combler les lacunes sur le sujet, l'intégration de connaissances académiques et locales constitue une approche pertinente à développer. L'objectif principal de cette recherche est de comprendre la portée d'une méthode d'intégration des connaissances dans la compréhension d'un processus (embâcle de glace) menant à un aléa naturel (inondation). Pour ce faire, une méthode d'intégration de connaissances académiques et locales (gestionnaires et personnes riveraines) est développée sur la rivière Mitis (Quebec, Canada). Les connaissances locales sont recueillies par un recrutement à plusieurs entrées, un questionnaire pour cibler les personnes locales expertes et des entretiens portant sur leurs connaissances par rapport aux embâcles et aux inondations liées. Pour les connaissances académiques, la position de cicatrices glacielles, une analyse météorologique d'évènements d'embâcles historiques et la littérature scientifique sont utilisées pour renseigner sur la dynamique des embâcles. Ensuite, une modélisation hydraulique stochastique et l'élévation de cicatrices glacielles sont utilisées pour informer sur les zones inondables par embâcle de glace. Le premier chapitre explore l'hypothèse que l'intégration des connaissances académiques et locales permet de mieux comprendre la complexité et l'unicité des embâcles de glace de la rivière Mitis. Le deuxième chapitre porte sur l'hypothèse que l'intégration des connaissances diminue les incertitudes liées à la cartographie des zones inondables par embâcle sur la rivière Mitis. Les résultats révèlent que l'approche développée permet de cibler les personnes qui ont des connaissances expertes sur les embâcles et les inondations reliées. L'intégration des connaissances identifie une dynamique glacielle reliant la dynamique fluviale, la météorologie et les caractéristiques du couvert de glace qui occasionne un patron général de production, de transport et d'accumulation de glace et de frasil selon la convergence et la complémentarité des connaissances. Finalement, le projet permet de produire une cartographie des zones inondables par embâcle avec différentes connaissances majoritairement convergentes. Si l'expertise est plus distribuée à travers la société qu'il n'y paraît, ce projet souligne la portée de l'intégration des connaissances pour comprendre un phénomène naturel complexe et localisé.

Mots clés : Embâcle de glace, inondation, intégration des connaissances, connaissances locales, cartographie de l'aléa.

ABSTRACT

Ice jams can cause significant flooding and are complex processes that are difficult to predict due to the many variables involved in their formation. In order to fill the gaps in knowledge on this subject, integrating academic and local knowledge is a relevant approach to develop. The main objective of this research is to understand the scope of a knowledge integration method in understanding a process (ice jam) leading to a natural hazard (flooding). To do this, a method for integrating academic and local knowledge (managers and riverside residents) is being developed on the Mitis River (Quebec, Canada). Local knowledge is gathered through multi-entry recruitment, a questionnaire targeting local experts, and interviews about their knowledge of ice jams and related flooding. For academic knowledge, the position of ice scars, a meteorological analysis of historical ice jam events and scientific literature are used to provide information on ice jam dynamics. Subsequently, stochastic hydraulic modeling and ice scar elevation are used to provide information on areas susceptible to ice-jam flooding. The first chapter explores the hypothesis that integrating academic and local knowledge provides a better understanding of the complexity and uniqueness of ice jams on the Mitis River. The second chapter focuses on the hypothesis that integrating knowledge reduces uncertainties related to mapping ice jam flood zones on the Mitis River. The results reveal that the approach developed makes it possible to target individuals with expert knowledge of ice jams and related flooding. Furthermore, knowledge integration identifies an ice dynamic linking river dynamics, meteorology, and ice cover characteristics that causes a general pattern of ice and frazil production, transport, and accumulation based on the convergence and complementarity of knowledge. Finally, the project makes it possible to produce a map of ice jam flood zones using different knowledges that are mostly convergent. While expertise may be more distributed throughout society than it appears, this project highlights the importance of knowledge integration in understanding a complex and localized natural phenomenon.

Keywords: Ice jam, Flooding, knowledge integration, local knowledge, hazard mapping.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS vii

RÉSUMÉ xiii

ABSTRACT xv

TABLE DES MATIÈRES xvii

LISTE DES TABLEAUX xxi

LISTE DES FIGURES xxiii

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES xxv

LISTE DES SYMBOLES xxvii

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

1. INTEGRATION DES CONNAISSANCES 5

2. OBJECTIFS ET POSTURE 7

CHAPITRE 1 Intégration des connaissances pour comprendre la complexité des embâcles de glace de la rivière Mitis 11

1.1 INTRODUCTION 12

1.2 LES EMBACLES DE GLACE 14

1.2.1 Variables responsables de la formation des embâcles de glace 14
1.2.2 Variabilité des embâcles et processus associés 23

1.3 INTÉGRATION DES CONNAISSANCES 29

1.4 SITE D'ETUDE 34

1.5 METHODE 35

1.5.1 Connaissances locales académiques 35
1.5.2 Connaissances locales expertes 37

1.6 RESULTATS 44

1.6.1 Portraits des personnes locales expertes 44
1.6.2 Spatialisation de la dynamique glacielle 45
1.6.3 Temporalité de la dynamique glacielle 52
1.6.4 Les embâcles sur la rivière Mitis : un phénomène multi causal 57

1.7 DISCUSSION 59

1.7.1 Spatialisation de la dynamique glacielle 59
1.7.2 Formation des embâcles de glace sur la rivière Mitis 66
1.7.3 Valorisation des connaissances locales expertes 69

1.8 CONCLUSION 71

CHAPITRE 2 Intégration des connaissances pour cartographier les inondations liées aux embâcles de glace 73

2.1 INTRODUCTION 74

2.2 INTÉGRATION DES CONNAISSANCES 78

2.3 SITE D'ETUDE 83

2.4 MÉTHODE 83

2.4.1 Connaissances académiques 83
2.4.2 Connaissances locales expertes 86

2.5 RESULTATS 91

2.6 REFLEXIONS ET PERSPECTIVES 94

2.6.1 Connaissances académiques 95
2.6.2 Connaissances locales expertes 97
2.6.3 Cartographie intégratrice 99

2.7 CONCLUSION 102

2.8 REMERCIEMENTS 103

CONCLUSION GÉNÉRALE 105

ANNEXES 109

Annexe I. Affiches de recrutement pour les personnes riveraines 110

Annexe II Questionnaire destiné aux personnes riveraines 111

Annexe III. Questionnaire destiné aux gestionnaires 122

Annexe IV. Critères d'analyse détaillés pour cibler les personnes expertes à partir des réponses du questionnaire 128

Annexe V. Guide d'entretien destiné aux personnes riveraines 129

Annexe VI. Guide d'entretien destiné aux gestionnaires 132

Annexe VII. Spatialisation des liens entre les causes 136

Annexe VIII. Certificat d'éthique et son renouvèlement 137

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 139

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Critères d'analyse des réponses du questionnaire 40

Tableau 2. Expériences des personnes participantes par rapport aux embâcles de glace mentionnées durant les entretiens semi-dirigés.....42

Tableau 3. Catégorisation des causes nommées par les personnes participantes comme étant responsable de la formation d'embâcle de glace sur la rivière Mitis 43

Tableau 4. Résumé des événements d'embâcles historiques sur la rivière Mitis et des conditions météorologiques déterminantes à leur formation cinq jours précédents et la journée-même.....53

Tableau 6. Variables utilisées à travers les 3000 simulations de la modélisation stochastique et leur distribution prédéterminée de valeurs possibles.....84

Tableau 7. Critères d'analyse des réponses du questionnaire 89

Tableau 8. Incertitudes évaluées durant la numérisation des cartes réalisées lors des entretiens 90

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Élévation du niveau d'eau par rapport aux données de débit enregistrées à la station de jaugeage de la rivière Athabasca (Canada) 21

Figure 2. Schématisation de l'approche d'intégration des connaissances 31

Figure 3. Localisation du site d'étude sur la rivière Mitis, à Sainte-Angèle-de-Mérici (Bas-Saint-Laurent) et ses bassins-versants principaux 34

Figure 4. Spatialisation sur le tronçon d'étude de l'échantillonnage systématique des cicatrices glacielles et de la stratégie de recrutement pour les personnes riveraines 36

Figure 5. Spatialisation de la dynamique glacielle sur la rivière Mitis à proximité de Sainte-Angèle-de-Mérici dans six secteurs déterminés en fonction de la convergence et de la complémentarité des connaissances. 47

Figure 6. Spatialisation des causes liées à la dynamiques fluviale qui peuvent mener à la formation d'embâcle de glace sur la rivière Mitis 50

Figure 7. Liens entre les causes de formation d'embâcles 58

Figure 8. Spatialisation de la dynamique glacielle sur la rivière Mitis 61

Figure 9. Schématisation simplifiée de la formation d’un embâcle de glace 75

Figure 10. Schématisation de l'approche d'intégration des connaissances 80

Figure 11. Distribution des niveaux d’eau obtenus à partir des simulations stochastiques pour le secteur de Sainte-Angèle-de-Mérici 86

Figure 12. Profil sociodémographique des 25 personnes riveraines qui ont répondu au questionnaire 91

Figure 13. Cartographie intégratrice des inondations par embâcle de glace selon les connaissances locales expertes 93

Figure 14. Cartographie intégratrice des inondations par embâcle de glace selon les connaissances locales expertes et les connaissances académiques 94

LISTE DES ABRÉVIATIONS, DES SIGLES ET DES ACRONYMES

MRC Municipalité régionale de comté

MSI Ministère de la Sécurité intérieure

LISTE DES SYMBOLES

%	Pourcent
mm	Millimètre
cm	Centimètre
m	Mètre
m^3	Mètre cube
km	Kilomètre
km^2	Kilomètre carré
s	Seconde
°C	Degré Celsius
x, y	Longitude, latitude

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les embâcles de glace sont des phénomènes hydrauliques communs de la dynamique glacielle des rivières nordiques (Chen et She, 2020 ; Rokaya *et al.*, 2018b) et peuvent entrainer des épisodes d'inondations majeurs (Lindenschmidt *et al.*, 2016). Les embâcles de glace sont des phénomènes naturels complexes et dépendent de plusieurs paramètres (météorologiques, caractéristiques du couvert de glace, morphologie du chenal, présence d'infrastructures, etc.), ce qui rend chaque évènement d'embâcle unique (Das & Lindenschmidt, 2021 ; Lindenschmidt, 2023).

Les dernières années ont été marquées par une croissance rapide de la recherche en lien avec les embâcles de glace et les inondations liées (Rokaya *et al.*, 2018a). Selon Rokaya *et al.* (2018a), l'étude des embâcles de glace est multidisciplinaire, avec des publications provenant de différents domaines en sciences naturelles. Par contre, la recherche sur les embâcles de glace n'en est qu'à ses débuts en ce qui concerne l'intégration de la dimension humaine, alors que peu d'études s'attardent aux aspects sociaux en lien avec les inondations par embâcles de glace (Lindenschmidt *et al.*, 2023 ; Rokaya *et al*., 2018a). Pourtant, l'importance des approches interdisciplinaires et transdisciplinaires incluant les sciences sociales est déjà bien ancrée dans l'étude des inondations en eau libre (Rokaya *et al.*, 2018a).

Selon Rokaya *et al.* (2018a), les approches techniques ou d'ingénierie demeurent les plus largement utilisées dans la recherche sur les inondations par embâcle de glace pour l'amélioration de leur gestion et leur mitigation. Les études d'ingénierie et d'hydraulique ont entre autres approfondi les connaissances de la communauté scientifique sur le comportement de la glace de rivière, le rôle des infrastructures sur celle-ci et la modélisation de la glace en rivière. Parmi les connaissances sur le comportement de la glace, les *javes* (terme décrivant la vague induite par le relâchement de l'embâcle (Beltaos, 2008b)), le seuil d'équilibre des embâcles de glace, les propriétés mécaniques internes des embâcles de glace

et le seuil entre la débâcle mécanique et thermique sont des concepts qui ont été proposés et étudiés en ingénierie et hydraulique (Rokaya *et al.*, 2018a). Le rôle des infrastructures (piliers, pont, barrages, digues, etc.) sur les embâcles de glace constitue également un apport de la recherche provenant de ces domaines (Lindenschmidt *et al*., 2023 ; Rokaya *et al*., 2018a). Finalement, plusieurs recherches en ingénierie et en hydraulique utilisent ces notions pour modéliser la formation de la glace et/ou d'embâcle de glace, la débâcle et les *javes* (Das *et al.*, 2023 ; de Rham *et al.*, 2020 ; Rokaya *et al.*, 2018b).

En météorologie et en climatologie, plusieurs recherches se sont attardées à l'effet des facteurs météorologiques et climatiques sur les inondations dues aux embâcles de glace, ainsi qu'à évaluer les effets climatiques futurs sur l'hydrologie des glaces fluviales (De Coste *et al.*, 2022 ; Prowse *et al.*, 2007 ; Rokaya *et al.*, 2018a). Aussi, l'intégration de ces effets dans la modélisation hydraulique permet d'améliorer les prédictions associées (Rokaya *et al.*, 2018a). À petite échelle sur des endroits spécifiques, plusieurs études évaluent l'occurrence d'embâcle de glace en intégrant plusieurs variables hydrométéorologiques avant et durant la débâcle (White, 2003 ; Zhao *et al.*, 2012), telles que la température de l'air, les précipitations de pluies et de neige (Zhao *et al.*, 2012). Toutefois, les études à large échelle utilisant plusieurs variables hydrométéorologiques demeurent peu nombreuses et plusieurs limites y sont associées, liées à la combinaison limitées des variables et de la saisonnalité des embâcles, alors que seulement les embâcles de fin d'hiver ou de printemps (Arsenault-Boucher *et al.*, 2025 ; Madaeni *et al.*, 2022) et de milieu d'hiver ont été étudiés sous cet angle (Arsenault-Boucher *et al.*, 2025), sans couvrir les embâcles de début d'hiver (Madaeni *et al.*, 2022).

Ensuite, l'étude de la géomorphologie des rivières à embâcles de glace a permis de déterminer des formes laissées par le passage de la glace dans les rivières nordiques, soit les *bechevnik* (Ettema et Kempema, 2012 ; Hamelin, 1979), les berges à deux niveaux (Boucher *et al.*, 2009b ; Morin *et al.*, 2015), l'imbrication de blocs (Mackay et MacKay, 1977) ou encore les fosses à frasil (Allard et al., 2011). Ces formes hydrogéomorphologiques peuvent alors témoigner de l'influence de la glace sur l'évolution du paysage riverain nordique et

permettre de discerner les zones où la glace et les embâcles de glace ont modelé les rives et le lit des rivières.

De façon complémentaire, la dendrochronologie permet de reconstituer les évènements d'embâcles de glace historique et d'évaluer la fréquence et la magnitude de ces évènements en datant les cicatrices glacielles (Boucher *et al.*, 2009b ; Lagadec *et al*., 2015 ; Lubiniecki *et al*., 2024). Celles-ci renseignent également sur la spatialisation (position) des embâcles de glace et du transport de la glace associé sur une rivière (Boucher *et al.*, 2009b ; Lagadec *et al.*, 2015 ; Lubiniecki *et al.*, 2024). En effet, les cicatrices glacielles correspondent aux cicatrices laissées sur les arbres et les arbustes riverains par des blocs de glace lors d'épisodes d'embâcles de glace (Boucher *et al.*, 2009b ; Lagadec *et al.*, 2015). Puis, lorsque l'embâcle de glace cède, la vague induite (*jave*) se déplace en aval (Beltaos, 2013b) : les glaces flottantes du train de glace sont alors poussées contre les berges et ont un impact sur la végétation de la zone riveraine (Lagadec *et al.*, 2015). Dans certaines études, la dendrochronologie a même été utilisée comme proxy pour confirmer le rôle de la glace ou d'embâcle de glace dans la création de formes géomorphologiques dans les rivières (Boucher *et al*., 2012 ; Boucher *et al*., 2009a ; Plante Lévesque *et al*., 2019) et l'évolution de la végétation riveraine (Prugne *et al.*, 2025).

Selon les travaux de De Munck *et al*. (2017), l'étude de la morphologie des rivières permet d'identifier des secteurs propices à la formation d'embâcles de glace. Par exemple, le rétrécissement du chenal, la sinuosité, la présence d'île et/ou de pont, les confluences et les ruptures de pente sont tous des facteurs clés qui peuvent mener au blocage de la glace et à la formation d'embâcle de glace (De Munck *et al.*, 2017 ; Ghobrial *et al.*, 2023).

Également, l'observation par télédétection de la glace, des embâcles de glace et des inondations qui y sont reliées est de plus en plus réalisée (Rokaya *et al.*, 2018a). En effet, les images satellitaires peuvent être utilisées afin de délimiter l'étendue des zones inondées par embâcle de glace (Pagneux et Snorrason, 2012), surveiller la débâcle et les inondations associées et caractériser la glace de rivière (Kääb *et al.*, 2019). Si les images satellitaires avec une résolution spatiale de 10–100 m peuvent être utilisées dans les rivières larges, les

imageries obtenues par drone représentent une alternative prometteuse pour les plus petites rivières selon Duguay *et al.* (2023). Contrairement aux images satellitaires, elles ne dépendent généralement pas de la couverture nuageuse (Duguay *et al.*, 2023). De plus, l'acquisition de ces images peut entre autres mener à la réalisation d'un modèle d'élévation de la glace et d'une orthomosaïque avec une résolution au sol de l'ordre de 1 à 5 cm (Duguay *et al.*, 2023). La technologie de la télédétection permet donc de réaliser un suivi des embâcles de glace et des inondations qui peuvent y être liées et d'en avoir une meilleure compréhension (Rokaya *et al.*, 2018a).

Malgré toutes ces avancées pluridisciplinaires, la prédiction de l'occurrence des embâcles de glace et des inondations reliées demeure une tâche complexe pour s'assurer de représenter la réalité (Das & Lindenschmidt, 2021 ; Lindenschmidt, 2023). En effet, la dynamique glacielle des rivières est difficile à anticiper, en lien avec l'imprévisibilité des évènements liés à la glace et aux embâcles de glace. Cette imprévisibilité peut entraver la collecte des données pour calibrer les modèles hydrauliques et alimenter l'historique d'étendues inondées (Das et Lindenschmidt, 2021 ; Duguay *et al.*, 2023 ; Pagneux et Snorrason, 2012). En ce sens, les méthodes d'étude et de cartographie des inondations causées par embâcles de glace demeurent peu définies (Kovachis *et al.*, 2017).

En parallèle, peu d'études en sciences humaines et sociales sont conduites sur les embâcles de glace (Rokaya *et al.*, 2018a). Toutefois, certaines études commencent à s'intéresser aux représentations des embâcles de glaces et des inondations reliées (Khalafzai *et al.*, 2021 ; Pagneux *et al.*, 2011 ; Takakura, 2018). Ces études suggèrent que les savoirs locaux peuvent être valorisés afin de mieux comprendre le comportement de la glace en rivière et le processus de formation d'embâcle de glace pouvant engendrer l'aléa naturel (inondation) (Khalafzai *et al*., 2021 ; Takakura, 2018).

Face à des phénomènes complexes, tels que les embâcles de glace et les inondations liées, les connaissances locales sont souvent considérées comme anecdotiques (Lane *et al.*, 2011 ; Mackinson, 2001). Pourtant, les savoirs locaux peuvent être utilisés pour mieux comprendre un phénomène et permettre de combler et bonifier les savoirs académiques

(Apetrei *et al.*, 2021 ; Hermans *et al.*, 2022 ; Mackinson, 2001 ; Raymond *et al.*, 2010). Tandis que les savoirs académiques sont essentiellement générés par des processus formalisés, les savoirs locaux sont générés à travers des règles et des normes culturelles, des interactions entre l'humain et l'environnement ou l'expérience personnelle (Hermans *et al.*, 2022). Le terme de savoir académique est utilisé ici pour désigner un système de connaissances développées dans un contexte académique, au lieu du terme savoir scientifique plus répandu dans la littérature. Tel que souligné par Hermans *et al.* (2022) et Tengö *et al.* (2014), les connaissances locales du savoir local peuvent être scientifiques, en pouvant aussi être acquises par des processus formalisés qui leur sont propres. Le développement de savoirs ou de connaissances scientifiques n'est donc pas seulement réservé aux scientifiques du milieu académique (Lane *et al.*, 2011). Devant la complexité des embâcles de glace et des inondations liées, leur surveillance et les incertitudes liées à leur prédiction, l'intégration de connaissances académiques et locales constitue une approche à développer afin de mieux comprendre le processus (embâcle de glace) et diminuer les incertitudes associées à la cartographie de l'aléa qu'il engendre (inondation).

1. INTEGRATION DES CONNAISSANCES

L'intégration des connaissances est une approche souvent utilisée pour mieux comprendre l'ampleur, la complexité et les incertitudes de problèmes environnementaux (Apetrei *et al*., 2021 ; Hermans *et al.*, 2022 ; Tengö *et al.*, 2014). Hermans *et al.* (2022, p.1129) définissent l'intégration des connaissances comme « a collective process of synthesizing or combining specialized yet differentiated local and scientific knowledge possessed by local people and scientists into a common knowledge that is efficient, flexible, and within the scope of decision-making ». En gestion de l'environnement, l'intégration des connaissances promeut une meilleure compréhension commune des problématiques de gestion environnementale (Mackinson, 2001 ; Raymond *et al.*, 2010), comme les aléas naturels. En effet, l'intégration de différents types de connaissances parfois divergentes peut permettre le développement de nouvelles théories, méthodes et savoirs (Mackinson, 2001 ; Raymond *et al.*, 2010). L'intégration des connaissances occupe aujourd'hui des

problématiques environnementales diverses comme la conservation de la biodiversité, la gestion des risques ou les savoirs sur les changements climatiques notamment (Gagnon et Berteaux, 2009 ; Hermans *et al.*, 2022 ; Raymond *et al.*, 2010 ; Tengö *et al.*, 2014).

Au sein de l'étude des risques naturels, les savoirs locaux et autochtones sont exponentiellement étudiés depuis les vingt dernières années comme un levier de réduction du risque (Hadlos *et al.*, 2022 ; Hermans *et al.*, 2022). Si le risque peut être définit d'une façon simpliste par la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité (Navarro et Michel-Guillou, 2014), ces travaux incorporent ces savoirs à plusieurs étapes dans la gestion des risques naturels, soit la réduction de la vulnérabilité des populations exposées, l'amélioration des systèmes d'alertes, la prise de décisions dans la gestion des risques, le rehaussement de la compréhension d'un risque naturel, etc. (Bwambale *et al.*, 2022 ; Hadlos *et al.*, 2022 ; Hermans *et al.*, 2022). Toutefois, peu d'études mobilisent ces savoirs dans l'évaluation et la compréhension de l'aléa (Hadlos *et al.*, 2022), une facette importante dans la gestion du risque naturel (Leone et Vinet, 2017). En effet, dans la compréhension de l'aléa, les savoirs locaux et autochtones sont surtout utilisés pour faire le lien entre la connaissance de l'aléa et la réduction de la vulnérabilité (et par le fait même, le risque) (Hadlos *et al.*, 2022 ; Hiwasaki *et al.*, 2014).

Certaines études intègrent des connaissances locales avec les connaissances académiques pour mieux comprendre les aléas naturels, tels que les mouvements de terrain, la submersion côtière et les inondations (Bullen et Miles, 2024 ; Bwambale *et al.*, 2022 ; Elineau *et al.*, 2020 ; Malone *et al.*, 2022 ; Santha *et al.*, 2014). Toutefois, les connaissances locales y sont souvent utilisées pour être comparées avec les connaissances académiques afin de les valider, ou encore évaluer si les communautés sont bien sensibilisées au(x) risque(s) naturel(s) dans leurs secteurs (Bullen et Miles, 2024 ; Elineau *et al.*, 2020 ; Pagneux *et al.*, 2011 ; Vojinovic *et al.*, 2016).

2. OBJECTIFS ET POSTURE

Ce mémoire explore l'approche de l'intégration des connaissances académiques et locales (riveraines et gestionnaires) pour mieux comprendre la complexité et l'unicité des embâcles de glace et diminuer l'incertitude liée à la cartographie des inondations qu'ils peuvent engendrer. Son objectif principal est de comprendre la portée d'une méthode d'intégration des connaissances dans la compréhension d'un processus (embâcle de glace) menant à un aléa naturel (inondation). Le premier objectif spécifique est de développer une méthode d'intégration des connaissances afin de recueillir des connaissances provenant du milieu académique et des connaissances locales (de gestionnaires et de personnes riveraines) par rapport aux embâcles de glace et aux inondations reliées. Le deuxième objectif spécifique est d'analyser les processus fluvio-glaciels liés aux embâcles de glace sur la rivière Mitis. Le troisième objectif spécifique est d'intégrer ces connaissances dans une cartographie des espaces fluviaux susceptibles d'être influencés par les inondations liées aux embâcles de glace.

Ce projet de maîtrise a été réalisé dans le cadre du projet de recherche intitulé : Valoriser les données émergentes sur le couvert de glace afin de mieux comprendre le régime de glace de rivière et les processus associés (inondations, évolution morphologique). Ce projet de recherche est piloté par Mélanie Trudel, professeure à l'Université de Sherbrooke, avec une équipe de travail en sciences naturelles (génie et hydrogéomorphologie). Conjointement à ce projet, un autre projet de recherche a été réalisé au sein de la même équipe, nommé Développement d'une méthodologie de caractérisation, de cartographie et d'identification de mesures de résilience pour les communautés aux prises avec des inondations par embâcles de glace (Croquer Perez *et al.*, 2026). Plusieurs connaissances et méthodes (dont le projet de maîtrise a grandement bénéficié) ont été développées à travers ces projets de recherche. Ceux-ci sont réalisés sur plusieurs rivières en Estrie présentant une problématique d'embâcle de glace, en plus d'une rivière dans le Bas-Saint-Laurent.

Le projet de maîtrise a été entrepris sur une de ces rivières, soit la rivière Mitis au Bas-Saint-Laurent. J'ai moi-même effectué plusieurs collectes de données sur la rivière et contribué à certaines sections de la méthode employée dans les projets de recherche. En parallèle, j'ai développé un cadre méthodologique d'intégration des connaissances académiques et locales, qui comprend une méthode pour collecter et analyser les données sur les connaissances locales par rapport aux embâcles de glace et les inondations liées. En comptant l'équipe de direction et moi-même, les champs d'expertise de l'équipe de recherche comprennent la géographie, l'hydrogéomorphologie, l'hydraulique et les sciences sociales relatives à la gestion de l'environnement.

D'un point de vue épistémologique et dans un contexte de recherche en géographie, l'approche s'apparente à la géographie physique critique (Lave *et al.*, 2013 ; Tadaki *et al.*, 2015). En effet, l'intégration des connaissances réalisée remet en question les approches plus couramment utilisées dans la compréhension des embâcles de glace et des inondations liées en utilisant la géographie humaine et physique dans les méthodes employées (Dufour, 2015 ; Gintrac, 2012 ; Lave *et al.*, 2013 ; Tadaki *et al.*, 2015). De plus, l'approche utilise des sources de connaissances provenant de différents profils et domaines pour avoir une vision plus complète des embâcles de glace, tout en explorant les limites de chaque source de connaissances pour cartographier les inondations liées. En ce sens, la subjectivité est centrale à l'intégration, d'autant plus que le niveau d'intégration dépend du contexte dans laquelle elle est réalisée et par qui elle est réalisée (Hermans *et al.*, 2022 ; Raymond *et al.*, 2010).

Le mémoire est rédigé par article, avec deux chapitres indépendants et détenant une hypothèse qui leur est propre. Le premier chapitre porte sur la complexité des embâcles de glace sur la rivière Mitis, avec l'hypothèse que l'intégration des connaissances académiques et locales nous permet de mieux comprendre la complexité et l'unicité des embâcles de glace de la rivière Mitis. Il débute avec une revue de littérature qui illustre globalement la complexité des embâcles de glace, avant de continuer avec la méthode déployée et l'intégration réalisée sur la rivière Mitis pour mieux cerner la complexité des embâcles spécifique à la rivière Mitis. Ensuite, le deuxième chapitre, rédigé sous forme d'article

classique, porte sur les inondations par embâcles de glace sur la rivière Mitis et leur cartographie. En utilisant plusieurs connaissances et en identifiant les limites de chacune pour cartographier les inondations par embâcle de glace, l'hypothèse de ce chapitre est que les différentes informations sont complémentaires et permettent d'avoir une cartographie plus complète du phénomène. L'entièreté du mémoire répond au premier objectif spécifique. Le premier chapitre répond au deuxième objectif spécifique, alors que le deuxième chapitre répond au troisième objectif spécifique. Cette structure implique des redondances entre les deux chapitres, en lien avec l'introduction des chapitres, la présentation de l'approche de l'intégration des connaissances, la méthode associée au recrutement des personnes participantes (menant à cibler les personnes locales expertes) et la réalisation d'entretiens semi-dirigés.

CHAPITRE 1

INTEGRATION DES CONNAISSANCES POUR COMPRENDRE LA COMPLEXITE DES EMBACLES DE GLACE DE LA RIVIERE MITIS

Les embâcles de glace sont des processus complexes faisant partie de la dynamique glacielle des rivières nordiques, comme celles du Québec. Leur dynamique varie pour chaque embâcle et chaque rivière prédisposée à former des embâcles, en lien avec les caractéristiques de la glace, la morphologie de la rivière, le débit et les conditions météorologiques. Dans le but de mieux comprendre la variabilité locale des embâcles de glace, ce chapitre porte sur l'intégration de connaissances locales (gestionnaires et riveraines) et académiques par rapport aux embâcles de glace sur la rivière Mitis (Bas-Saint-Laurent). Le processus d'intégration des connaissances (locales expertes et académiques) réalisé mène à une meilleure compréhension de la complexité et de l'unicité des embâcles de glace de la rivière Mitis, dans leur spatialisation et leur temporalité. En effet, un patron général de production, de transport et d'accumulation de glace et de frasil est identifié par la convergence et la complémentarité des connaissances. D'après les connaissances locales expertes, la formation des embâcles sur la rivière Mitis est surtout due à la combinaison de causes naturelles, soit la dynamique fluviale, la météorologie et les caractéristiques du couvert de glace. La méthode permet de cibler les personnes ayant un système de connaissances locales expertes, dont la présence dépend en partie du niveau de leur familiarité des embâcles de glace. Cette recherche ouvre une réflexion vers quelles connaissances devraient être utilisées dans la compréhension de la complexité d'un phénomène naturel localisé et comment les connaissances locales pourraient y être davantage valorisées à leur juste valeur.

Ce chapitre a été réfléchi et rédigé par Zoé Martineu, épaulée par son équipe de direction dans la conceptualisation de la recherche et la révision du chapitre. La collecte et l'analyse des données a été réalisée par Zoé Martineu (assistée par des personnes sur le terrain), mise à part l'analyse météorologique, qui a été réalisée par Jason Dugay et Antoine Pruneau, et le traitement des données des cicatrice glacielles, réalisé par Félix Lachapelle. Les résultats sur la spatialisation de la dynamique glacielle ont en partie été présentés au 19e Colloque sur les risques naturels au Québec en mai 2025 à Montréal (92e congrès de l'Acfas).

1.1 INTRODUCTION

La glace de rivière constitue une composante structurante des dynamiques fluviales des rivières nordiques (Magnuson *et al.*, 2000), comme celles du Québec (Chen et She, 2020). En conséquence, les embâcles de glace y sont des phénomènes hydrauliques (Chen et She, 2020 ; Rokaya *et al.*, 2018b) et morphogéniques (Morin *et al.*, 2015 ; Plante Lévesque *et al.*, 2019) communs. Les embâcles de glace correspondent à des amoncellements de glace et/ou de frasil, d'une longueur pouvant varier de centaines de mètres à plusieurs kilomètres de long (Lindenschmidt, 2020 ; Prowse, 1986). Généralement, ils se forment à la suite d'une augmentation du niveau de l'eau, qui provoque la dislocation du couvert de glace en place (Lindenschmidt, 2020). Les morceaux et les blocs de glace sont transportés en aval par l'écoulement et peuvent se coincer dans des sections de la rivière où l'écoulement est entravé (De Munck *et al.*, 2017). L'amoncellement de glace qui en résulte peut provoquer une hausse du niveau de l'eau et des inondations en amont de l'embâcle (Lindenschmidt, 2020). Si l'embâcle cède, il libère ce grand volume d'eau en une courte période sous la forme d'une vague d'eau et de glace (Nafziger *et al*., 2016), pouvant engendrer des inondations en aval et/ou la création d'un autre embâcle (Lindenschmidt, 2024). La formation d'embâcles de glace et les inondations liées peuvent compromettre la sécurité publique des communautés riveraines, sans compter les dommages pour leurs propriétés et entreprises, pouvant atteindre des millions de dollars (Lindenschmidt *et al.*, 2016).

Si la plupart des embâcles de glace se forment durant le printemps (Arsenault-Boucher *et al.*, 2025), en lien avec l'augmentation des températures de l'air (qui provoque la fonte de la neige), les précipitations de pluie ou une concomitance de ces événements (Beltaos, 2002), les embâcles de glace hivernaux peuvent aussi être considérés comme de plus en plus fréquents au Canada avec les effets des changements climatiques (De Coste *et al.*, 2022). Également, ces types d'embâcles peuvent renforcer le couvert de glace (Das *et al.*, 2023). En effet, le couvert de glace hérité de l'embâcle de glace hivernal peut se consolider grâce au gel de l'eau présente à travers et au-dessus le couvert de glace (Das *et al.*, 2023). Les embâcles hivernaux peuvent donc permettre la formation de couvertures de glace relativement épaisses

et résistantes mécaniquement, et intensifier les conditions de débâcle et les formations d'embâcles au printemps suivant (Das *et al.*, 2023 ; Turcotte *et al.*, 2020). Ainsi, l'augmentation des épisodes de gel/dégel en lien avec les changements climatiques peut amener une consolidation de la glace dans les embâcles et augmenter les risques d'inondation qui y sont associés (Das *et al.*, 2023 ; Turcotte *et al.*, 2020). Les périodes de grands froids peuvent aussi entraîner une plus grande production de frasil dans les tronçons de rivière libres de glace (Barrette, 2021 ; Daly, 2013) et contribuer à l'obstruction de l'écoulement de la rivière en aval (Bergeron *et al*., 2011).

De plus, ce processus de formation varie pour chaque embâcle et pour chaque rivière (Beltaos, 2021 ; Lindenschmidt, 2023), selon le débit, les conditions météorologiques et climatiques, les caractéristiques de la glace et la morphologie de la rivière. Ces variables peuvent engendrer plusieurs types d'embâcles de diverses magnitudes. L'imprévisibilité de la plupart des événements dynamiques liés à la glace rend également difficile la collecte des données pour alimenter la compréhension des embâcles de glace (Das et Lindenschmidt, 2021 ; Duguay *et al.*, 2023 ; Pagneux et Snorrason, 2012). Afin de combler et de bonifier les savoirs académiques, les savoirs locaux peuvent être utilisés pour mieux comprendre un phénomène (Apetrei *et al.*, 2021 ; Hermans *et al.*, 2022 ; Mackinson, 2001 ; Raymond *et al.*, 2010).

Alors que les savoirs académiques sont essentiellement générés par des processus formalisés, les savoirs locaux sont générés à travers des règles et des normes culturelles, des interactions entre l'humain et l'environnement ou l'expérience personnelle (Hermans *et al.*, 2022). Le terme de savoir académique est utilisé ici pour désigner un système de connaissances développées dans un contexte académique, au lieu du terme savoir scientifique plus répandu dans la littérature. Tel que souligné par Hermans *et al.* (2022) et Tengö *et al.* (2014), les connaissances locales du savoir local peuvent être scientifiques, en pouvant aussi être acquises par des processus formalisés qui leur sont propres. Le développement de savoirs ou de connaissances scientifiques n'est donc pas seulement réservé aux scientifiques du milieu académique (Lane *et al.*, 2011).

Si plusieurs études se sont penchées sur les représentations des embâcles de glace et de la glace de rivière par les populations (Khalafzai *et al.*, 2021 ; Pagneux *et al.*, 2011 ; Rokaya *et al.*, 2018a ; Takakura, 2018), les connaissances des personnes locales tardent à être considérées pour mieux comprendre les embâcles de glace. En effet, les connaissances locales sont souvent considérées comme étant anecdotiques (Lane *et al.*, 2011 ; Mackinson, 2001).

Afin de mieux comprendre la variabilité des embâcles de glace, ce chapitre porte sur l'intégration de connaissances locales (gestionnaires et riveraines) et académiques par rapport aux embâcles de glace de la rivière Mitis (Bas-Saint-Laurent, Québec, Canada). Le premier objectif de ce chapitre est de recueillir les connaissances provenant du milieu académique, de gestionnaires et de personnes riveraines par rapport aux embâcles de glace sur la rivière Mitis. Le deuxième objectif est d'analyser les processus fluvio-glaciels liés aux embâcles de glace sur cette rivière. L'hypothèse avancée dans ce chapitre est que l'approche de l'intégration des connaissances académiques et locales permet de mieux comprendre la complexité et l'unicité des embâcles de glace de la rivière Mitis.

Une revue de littérature non exhaustive a d'abord été réalisée pour mieux comprendre la complexité des embâcles de glace. Ensuite, l'approche et la méthodologie associée seront présentées, suivies des résultats et de la discussion, avant de terminer avec une conclusion.

1.2 LES EMBACLES DE GLACE

Les variables responsables de la formation d'embâcles de glace, ainsi que la variabilité des embâcles de glace et les processus associés, sont ici explorés dans une revue de littérature non exhaustive.

1.2.1 Variables responsables de la formation des embâcles de glace

Les variables responsables de la formation d'embâcles de glace identifiées par cette revue de littérature sont les caractéristiques de la glace, la morphologie de la rivière, le débit et les conditions météorologiques. Le débit et la météorologie sont généralement associés au

moment où les embâcles surviennent, alors que la morphologie est habituellement associée au lieu où les embâcles surviennent. Quant à elles, les caractéristiques de glace sont couramment associées à la fois au moment et à l'endroit où les embâcles surviennent.

1.2.1.1 Caractéristiques de la glace

A) FORMATION ET ÉVOLUTION

Le processus de formation du couvert de glace débute lors du refroidissement des températures de l'air en dessous du point de congélation, qui refroidit l'eau de la rivière et provoque la formation de frasil et de glace lorsque que les températures de l'eau avoisinent le point de congélation (Shen, 2016).

Le frasil se forme généralement à la concomitance de turbulences dans l'écoulement et la présence d'eau en surfusion (Daly, 2013). Ces conditions se réunissent dans les secteurs à pentes plus élevées (Bergeron *et al.*, 2011) et libre de glace (Allard *et al.*, 2011), lorsque les températures froides de l'air amènent la surface de l'eau à atteindre l'état de surfusion par convection, radiation et évaporation (Barrette, 2021). Le frasil est composé de particules millimétriques ou plus petites sous formes de disques, d'aiguilles, d'hexagones ou d'autres formes variées (Barrette, 2021 ; Opfergelt *et al.*, 2024). Lorsqu'il est sorti et égoutté hors de l'eau, le frasil a une apparence comparable à de la neige mouillée (Barrette, 2021). En rivière, le frasil se forme avec l'introduction de cristaux de glace (*"seed cristals"*) dans l'eau, ceux-ci provenant de la cristallisation de la vapeur d'évaporation de l'eau, des gouttes d'eau générées par des vagues, des bulles remontant à la surface de l'eau, de la neige ou du grésil atteignant la rivière (Daly, 2013). Ensuite, ces cristaux de glace seront entrainés par la turbulence de l'écoulement, et si l'eau dans laquelle ils sont transportés atteint la surfusion, des nouveaux cristaux seront créés très rapidement sur ces derniers (Barrette, 2021 ; Daly, 2013). Lorsque le diamètre du frasil est petit (de l'ordre de 0,1 mm), il est transporté facilement dans la colonne d'eau de la rivière (Daly, 2013). Au fur et à mesure que le frasil grossit et que ses cristaux se joignent pour former des flocs de frasil, sa flottabilité augmente

et à un certain moment, ils commencent à remonter et à s'accumuler à la surface de l'eau (Daly, 2013) sous forme de crêpes et radeaux (Shen, 2016). Le frasil comporte un état « actif » et un état « passif » (Barrette, 2021). L'état actif réfère à la tendance du frasil à adhérer à des objets immergés (Barrette, 2021). Dépendamment de la vitesse d'écoulement et de sa flottabilité, le frasil actif transporté peut s'agglomérer à des objets présents dans la rivière, (sédiments du lit de la rivière, obstacles à l'écoulement, dessous du couvert de glace, etc.) (Daly, 2013), mais aussi aux endroits de changements de pente (Opfergelt *et al.*, 2024). Éventuellement, la formation d'un couvert de glace dans les zones de production de frasil atténuerait la formation de frasil, car il empêcherait la perte de chaleur de l'eau vers l'atmosphère froide (Barrette, 2021).

Dans les sections de rivière où l'écoulement est turbulent et peu profond tels que les seuils, la glace d'ancrage (*anchor ice*) peut se former (Bergeron *et al*., 2011), en raison de l'agglomération du frasil adhérant au lit de la rivière. (Shen, 2016). La croissance de la glace d'ancrage se fera d'abord de façon hétérogène sur le lit, puis la contrainte de cisaillement de l'écoulement va soit aplatir et uniformiser la glace d'ancrage, ou la libérer dans l'écoulement (Kerr *et al*., 2002). Si elle n'est pas relâchée, la glace d'ancrage continuera de s'épaissir (Kerr *et al*., 2002) en arrêtant le frasil transporté par l'écoulement et/ou par la croissance in-situ des cristaux de frasil (Yang *et al.*, 2024), pour éventuellement former un front de glace menant à la formation d'un couvert de glace dans la mouille directement en amont du seuil (Bergeron *et al.*, 2011).

Dans les secteurs moins turbulents avec une vitesse de l'écoulement plus faible (Shen, 2016) et un écoulement profond, une glace de rive va se former (Bergeron *et al.*, 2011). La formation de la glace de rive est favorisée par un mélange vertical plus faible de l'écoulement et le contact avec l'eau de la rive exposée et de ses sédiments émergeants (Bergeron *et al.*, 2011). Ces conditions accélèrent l'échange thermique entre l'air et l'eau, menant à la formation de glace de surface qui croît latéralement à la surface de l'écoulement jusqu'au ralentissement de sa progression, dû à des vitesse ou des turbulences trop importantes dans l'écoulement (Bergeron *et al.*, 2011). Les morceaux de glace de surface sous formes de flocs,

crêpes ou radeaux transportées par l'écoulement peuvent s'accumuler contre la glace de rive et contribuer à sa progression latérale à l'écoulement (Shen, 2016). La glace de rive peut également se former autour de blocs et galets émergeants de l'eau (Bergeron *et al.*, 2011).

Une fois formé, le couvert de glace s'épaissit par la croissance thermique du couvert vers le lit (Beltaos, 2008a), bien que le taux de croissance peut varier selon l'emplacement sur la rivière (Kämäri *et al.*, 2017). L'accumulation de frasil et de morceaux de glace en dessous du couvert peut aussi accélérer la croissance thermique du couvert de glace (Beltaos, 2008a). En parallèle, le couvert de glace peut s'épaissir avec la formation de glace blanche, aussi appelée glace de neige (Ashton, 2011). Cette glace se forme lorsque la neige présente sur le couvert de glace devient trop lourde et provoque sa submersion (Ashton, 2011). Une couche de neige mouillée gèle et contribue ainsi à l'épaississement du couvert de glace par le haut (Ashton, 2011).

B) DEBACLE

Le moment et l'intensité de la débâcle dépendent de la résistance de la glace (épaisseur et force mécanique) (Beltaos, 2023) et de sa composition (glace et frasil). La débâcle du couvert de glace est souvent associée à des scénarios de débâcle thermique ou mécanique selon la compétence mécanique de la glace, bien qu'en réalité les débâcles ne soient pas uniquement thermique ou mécanique (Turcotte et Morse, 2013). Par exemple, une débâcle qui se rapproche de la débâcle thermique peut se faire dans un lac où la glace se détériore et fond en place (Turcotte et Morse, 2013) avec le réchauffement saisonnier des températures de l'air (Beltaos et Bonsal, 2021). En revanche, la débâcle mécanique est caractérisée par une détérioration et une fonte limitées du couvert de glace précédant le bris et la mobilisation du couvert de glace (Turcotte et Morse, 2013). Alors que la formation d'embâcle de glace est généralement associée à une débâcle mécanique, l'épaisseur de la glace atteinte durant l'hiver peut être un facteur déterminant (Beltaos et Bonsal, 2021). En effet, un couvert de glace mince pourrait d'avantage connaître une débâcle thermique et ne pas détenir une force

mécanique assez élevée pour former un embâcle de glace ou arrêter le train de glace provenant de l'amont (Beltaos et Bonsal, 2021).

1.2.1.2 Variables morphologiques

En reprenant le concept de lien sédimentaire (Bergeron *et al.*, 2011) et de transition fluviale (Bérubé, 2014), la morphologie de la rivière influence la spatialisation de la formation de la glace de rivière, la débâcle et la formation d'embâcle de glace sur une rivière.

Selon le modèle conceptuel de Bergeron *et al.* (2011), des types de glace et de leur dynamique à l'échelle d'un lien sédimentaire, la dynamique glacielle d'une rivière graveleuse peut être associée à un gradient granulométrique caractérisé par une source commune de sédiments grossiers. Étant donné que la diminution de l'amont vers l'aval de la taille granulométrique est liée à la perte de compétence de l'écoulement (due à la diminution de la pente et la vitesse d'écoulement) et l'affinage des sédiments, la dynamique fluviale associée au lien sédimentaire affecte également la dynamique glacielle. Différentes dynamiques glacielles peuvent ainsi être identifiées le long du lien sédimentaire : en amont, au milieu et en aval. Ces mêmes dynamiques peuvent se retrouver à l'échelle d'une transition fluviale, également associée à un changement de pente et une perte de compétence de l'écoulement (Bérubé, 2014) et ce, même en l'absence de la source importante de sédiments grossiers caractéristique des liens sédimentaires. Ainsi, la glace de rive peut se former en aval dans les liens sédimentaires dans des secteurs de méandres avec un écoulement lent et profond et au milieu des liens sédimentaires dans les mouilles profondes avec un écoulement plus lent (Bergeron *et al.*, 2011). En contrepartie, le frasil et la glace d'ancrage vont se former dans les sections avec un écoulement plus rapide, soit majoritairement dans les rapides en amont et les seuils au milieu des liens sédimentaires (Bergeron *et al.*, 2011).

Ensuite, la débâcle mécanique aura tendance à se réaliser dans les tronçons en amont avec un écoulement plus rapide, où les fluctuations de débit pourront plus facilement provoquer le bris du couvert de glace (Bergeron *et al.*, 2011). En revanche, la débâcle thermique sera favorisée dans les secteurs où l'écoulement est plus lent, soit dans les secteurs

plus en aval (Bergeron *et al.*, 2011). Une débâcle mécanique ayant lieu en amont pourrait donc générer un volume important de blocs de glace qui seront transportés pour s'accumuler dans la portion en aval (Bergeron *et al.*, 2011), où le couvert de glace est encore présent (Lindenschmidt & Das, 2015).

D'ailleurs, plusieurs variables morphologiques prédisposent un secteur de rivière à former des embâcles de glace. En plus de la diminution de la pente et la profondeur du chenal précédemment mentionnées, plusieurs autres caractéristiques morphologiques du cours d'eau peuvent mener à un amoncellement de glace et/ou de frasil, telles que la constriction du chenal, le rétrécissement du chenal, la confluence de rivière et une rupture de pente (De Munck *et al.*, 2017 ; Ghobrial *et al.*, 2023). La constriction du chenal peut être causée par la sinuosité de la rivière, la présence de bancs d'accumulation, la présence d'îles et la présence de piliers de pont (De Munck *et al.*, 2017).

1.2.1.3 Débit

Le débit est un facteur prédominant à la rupture du couvert de glace sur la rivière (Beltaos, 2008b) et à la formation d'embâcle de glace (Turcotte *et al.*, 2020). Le débit (et le niveau d'eau associé) durant la formation du couvert de glace est également un facteur déterminant de la résistance du couvert de glace au moment de la débâcle (Beltaos, 2023 ; Ye et She, 2021). Pour les crues en eau libre, des relations peuvent généralement être établies entre le niveau d'eau et le débit, faisant en sorte qu'il est possible de prédire un niveau d'eau atteint pour un débit donné (Lindenschmidt, 2023). Cependant, ce n'est pas le cas pour les crues liées aux embâcles de glace, en raison de la complexité des variables qui mènent à leur formation et la grande variabilité entre chaque embâcle et chaque rivière prédisposée à former des embâcles de glace (Beltaos, 2021 ; Lindenschmidt, 2023). Par exemple, les processus hydrométéorologiques qui conduisent à la formation, à l'évolution et à la rupture des embâcles sont très spécifiques à chaque site (Beltaos, 2021 ; Kovachis *et al.*, 2017). En conséquence, la relation entre le débit et le niveau d'eau peut au mieux y être regroupé dans un nuage de points, ce qui dénote une grande incertitude dans la prévision de l'occurrence

d’embâcle de glace et du niveau d’eau que cela peut engendrer en fonction du débit (Lindenschmidt, 2023) (Figure 1). Pourtant, les embâcles peuvent provoquer des inondations de plus grande magnitude que celles causées uniquement par les inondations en eau libre dans certaines rivières (Lindenschmidt *et al.*, 2016), tel que c’est le cas pour la rivière Athabasca (Canada) (Lindenschmidt, 2023). De plus, la profondeur d’eau atteinte par embâcle peut parfois être jusqu’à 50% plus élevée qu’en eau libre pour le même débit (Beltaos, 2021). Cela peut s’expliquer par le fait que les embâcle de glace ont une rugosité en dessous du couvert de glace (coefficient de rugosité de Manning) de deux à trois fois plus élevée que les lits de rivières typiques et une épaisseur comparable ou plus grande à la profondeur d’eau en eau libre (Beltaos, 2021). Ainsi, pour laisser écouler le même débit qu’en eau libre, les embâcles de glace peuvent nécessiter une augmentation du double de la profondeur d’eau (Beltaos, 2021).

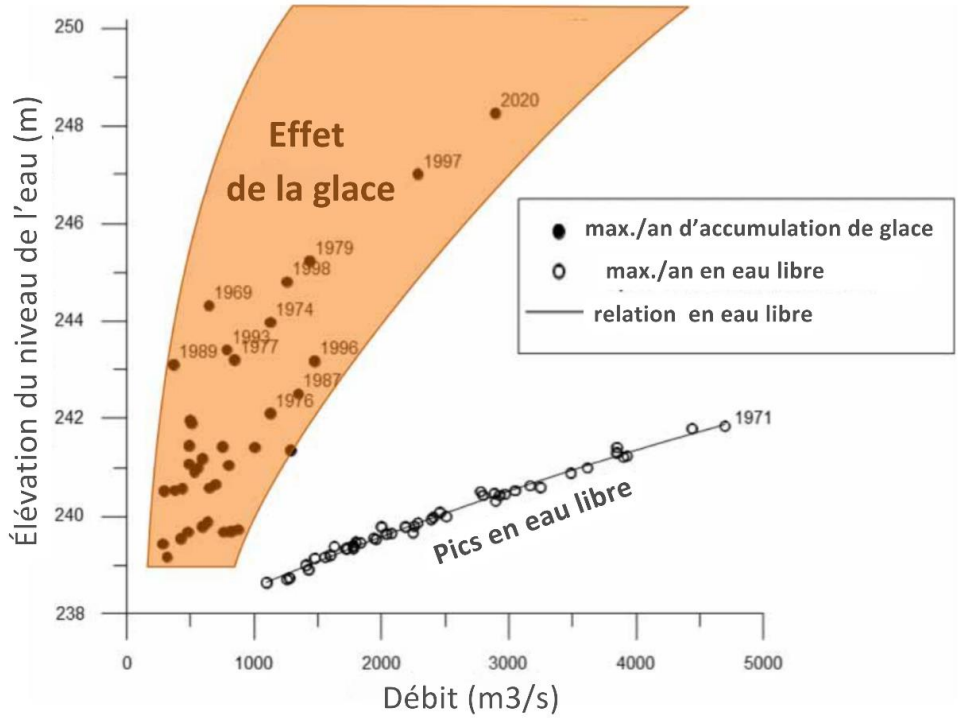


Figure 1. Élévation du niveau d'eau par rapport aux données de débit enregistrées à la station de jaugeage de la rivière Athabasca (Canada). Traduit de Lindenschmidt (2023)

1.2.1.4 Variables hydrométéorologiques

Concernant les variables météorologiques qui mènent à la formation d'embâcle de glace, leur étude est complexe, étant donné que plusieurs variables hydrométéorologiques et climatiques sont responsables de ce phénomène (Madaeni *et al.*, 2020, 2022 ; White, 2003). D'abord, les variables météorologiques déterminent la formation du couvert de glace et son évolution à travers la période hivernale (Beltaos, 2008a), alors que l'épaisseur de la glace et ses caractéristiques sont déterminantes à la débâcle (Beltaos, 2023). Puis, si les périodes de redoux sont reconnues comme la cause principale de la hausse du ruissellement menant à la rupture du couvert de glace (Beltaos, 2008b), plusieurs autres variables peuvent également influencer la débâcle selon la saison (Arsenault-Boucher *et al.*, 2025 ; Madaeni *et al.*, 2020), telles que le régime hydraulique de la rivière, la radiation solaire, la couverture nuageuse, l'humidité et la vitesse du vent et les précipitations (solides et liquides) (Burrell *et al.*, 2022).

Toutefois, les variables météorologiques clefs varient en fonction des types d'embâcles, qui seront décrit dans la section suivante.

Le ruissellement dans le bassin-versant débute lorsque le couvert de neige fond, mais son intensité dépend des caractéristiques du bassin-versant (Beltaos, 2008b ; Burrell *et al.*, 2022). Des évènements de pluies sur neige peuvent généralement mener à un ruissellement plus rapide (Burrell *et al.*, 2022), surtout lorsque le sol est encore gelé, rendant son taux d'infiltration très faible (Beltaos, 2008b). De plus, une couche de glace sur un couvert de neige (induite par la pluie gelée durant des évènements successifs de précipitations liquides et de températures froides) peut entraîner un ruissellement très rapide en cas de nouvelles précipitations liquides dans un bassin-versant (Burrell *et al.*, 2022). Les bassins-versants qui détiennent une plus forte pente peuvent connaître des épisodes de débâcles plus dynamiques, puisque le ruissellement et la réponse hydraulique du bassin-versant y seront plus rapides (Burrell *et al.*, 2022). Le ruissellement induit par la fonte du couvert de neige et/ou de la pluie va donc principalement causer une hausse du débit, de la vitesse de l'écoulement et de la contrainte de l'écoulement sur le couvert de glace, mais la magnitude du ruissellement sera influencée par la réponse hydrologique du bassin-versant (Beltaos, 2008b).

Sur de larges rivières, une différence de hausse des températures à travers le bassin versants peut y influencer la magnitude de la débâcle (Beltaos et Prowse, 2009). Par exemple, dans un bassin-versant s'écoulant du sud vers le nord, le secteur en amont peut générer une onde de crue liée à la fonte de la neige et se diriger vers le secteur en aval qui n'a pas encore connu la fonte de la neige et du couvert de glace et où le climat est plus froid (Beltaos & Prowse, 2009).

Ensuite, les périodes de redoux influencent le couvert de glace d'un point de vue hydraulique et hydrologique en augmentant le ruissellement (fonte du couvert de neige et/ou pluie menant à la hausse du débit, de la vitesse d'écoulement et de la contrainte de cisaillement sur le couvert de glace) et d'un point de vue structural en dégradant le couvert de glace (Beltaos, 2008b). Des températures supérieures à 0°C accompagnée ou pas de la

pluie sur la neige pendant trois jours peuvent suffire pour provoquer une débâcle hivernale (Newton *et al.*, 2016).

Cependant, la radiation solaire, la couverture nuageuse et le vent peuvent également influencer la débâcle. En effet, la radiation solaire peut aussi entraîner la fonte de la neige présente dans le bassin-versant et sur le couvert de glace de la rivière, avant même que les températures de l'air dépassent le point de fusion de la glace (Beltaos, 2008b). Puis, la hausse des températures de l'air et de l'eau et l'effet de la radiation solaire sur le dessus du couvert de glace vont mener au réchauffement du couvert de glace (Beltaos, 2008b). La dégradation induite de celui-ci qui en résultera sera exponentielle (Beltaos, 2008b). La couverture nuageuse peut aussi agir sur la débâcle, puisqu'elle influence l'intensité de la radiation solaire sur le couvert de glace (Burrell *et al.*, 2022). Par exemple, si une nuit froide et claire favorise la formation de glace, une importante couverture nuageuse peut retarder le gel, réduire la formation de frasil et retarder la débâcle (Burrell *et al.*, 2022). Les vents forts peuvent également influer sur la débâcle, car ils contribuent à éliminer la neige de la surface des larges rivières et ils favorisent le réchauffement de la couverture de glace et la sublimation de la neige (Burrell *et al.*, 2022).

À l'inverse, des températures froides peuvent favoriser la production de frasil en l'absence de couvert de glace (Gholamreza-Kashi, 2016) et le vent peut contribuer à cette production en refroidissant l'eau (Burrell *et al.*, 2022). De plus, des températures froides persistantes sur plusieurs jours combinées à une augmentation significative du débit peuvent mener à une importante production de frasil dans les segments de rivières turbulents et libres de glace (Barrette et Lindenschmidt, 2023 ; Gholamreza-Kashi, 2016).

1.2.2 Variabilité des embâcles et processus associés

Les variables responsables de la formation des embâcles de glace identifiée induisent une variabilité dans les types d'embâcles de glace et les processus associés. En effet, la débâcle va dépendre du débit (Beltaos, 2008b), de la morphologie du chenal, de la résistance

de la glace (épaisseur et force mécanique) et du niveau de l'eau au moment de la formation du couvert de glace (Beltaos, 2023).

1.2.2.1 Types d'embâcles

A) TYPES D'EMBACLES SELON LE CONTEXTE

Plusieurs types d'embâcles sont décrits dans la littérature en fonction du contexte dans lequel ils se forment et de leur évolution une fois formé, soit les embâcles de surface, les embâcles étroits, les embâcles larges, les embâcles d'équilibre et les barrages suspendus.

Les embâcles de surface se forment dans les tronçons de rivières ayant une vitesse d'écoulement plus faible, avec l'accumulation d'une couche de crêpes et de radeaux (Beltaos, 1995). Ces types d'embâcles peu épais produisent généralement un refoulement minime des eaux (Beltaos, 2008b), en lien avec le faible volume de glace disponible (Sui *et al.*, 2002). En effet, ces conditions feront en sorte que la glace s'y accumulera en longueur vers l'amont, ce qui aura un moindre impact sur le niveau de l'eau (Sui *et al.*, 2002). Les embâcles étroits se forment dans des chenaux étroits lorsque des blocs de glaces et du frasil s'accumulent en dessous du couvert de glace et qu'un chevauchement de glace se forme en aval de l'embâcle (Lindenschmidt, 2020). L'épaississement du couvert de glace et la résistance à l'écoulement mènent alors au refoulement de l'eau : l'embâcle de glace étroit est formé (Lindenschmidt, 2020). En revanche, les embâcle de type large se forment dans des chenaux plus larges, par l'accumulation de glace contre le couvert de glace, poussant la glace en aval en épaississant le couvert de glace (Lindenschmidt, 2020). Le processus peut épaissir considérablement le couvert de glace et causer des refoulements plus importants que les embâcles de types étroits, étant donné qu'ils ont tendance à s'épaissir davantage (Lindenschmidt, 2020). De plus, les embâcles de glace de type large sont généralement plus courants que les embâcles de type étroits (Lindenschmidt, 2020).

Les embâcle de glace peuvent également arriver à un stade d'équilibre (Lindenschmidt *et al*., 2018). Durant l'évolution de l'embâcle, si la résistance interne et la friction latérale de

l'embâcle sont insuffisantes, celui-ci continue à s'épaissir par compression et effondrement (Tang *et al.*, 2025). Mais lorsqu'il atteint un point où il peut résister à la contrainte exercée par des forces externes, il devient en équilibre (Tang *et al.*, 2025). Cette zone d'équilibre est caractérisée par une épaisseur de glace entassée et une profondeur d'écoulement qui n'augmentent pas à mesure que l'embâcle s'allonge avec l'apport des blocs de glace provenant de l'amont (Beltaos, 2021). D'ailleurs, le volume de glace disponible est un facteur important, car il détermine si un état d'équilibre sera atteint, en plus de la longueur du tronçon de la rivière qui sera touché (Lindenschmidt *et al*., 2018). Bien que la profondeur d'équilibre ne puisse être dépassée, plus le volume de glace est important, plus le site concerné a de chances de former un embâcle et des niveaux d'eau d'équilibre (Lindenschmidt *et al*., 2018). Les plus grands niveaux d'eau provoqués par embâcle sont associés aux embâcles d'équilibre (Lindenschmidt *et al*., 2018).

L'accumulation de frasil en dessous du couvert de glace peut mener à la formation d'un barrage suspendu, ce qui peut aussi entraîner des effets de refoulement du niveau de l'eau importants (Beltaos, 2013a ; Das et Lindenschmidt, 2021 ; Gholamreza-Kashi, 2016), dépendamment des conditions hydrométéorologiques, de la morphologie locale du chenal (Beltaos, 2013a), de l'hydraulique et du régime glaciel du frasil (Bérubé *et al.*, 2015). En effet, un barrage suspendu se forme par le transport et le dépôt de frasil et de fragments de glace sous un couvert de glace existant (Beltaos, 2021). En général, la source de cette glace est un tronçon escarpé en amont, contenant parfois des rapides, qui reste libre de glace durant une bonne partie ou tout l'hiver (Allard *et al.*, 2011 ; Beltaos, 2013a, 2021). Une pente plus douce plus en aval entraîne la formation précoce d'une couche de glace, qui sert de plate-forme pour que le frasil y adhère (Beltaos, 2021). Les barrages suspendus atteignent parfois des dimensions extrêmes dans les sections profondes des rivières (Beltaos, 2021), pouvant se rendre jusqu'au lit de la rivière (Vergeynst *et al.*, 2017). Par exemple, l'étude d'Allard *et al.*, (2011) sur la rivière Mitis a révélé la présence d'un barrage suspendu avec une épaisseur de frasil irrégulière mais stable de 6,5 m à l'hiver 2007-2008. Sur la rivière Sainte-Anne (Québec), un barrage suspendu de 9,2 km de long a été mesuré, alors que le frasil aggloméré s'étendait jusqu'au lit de la rivière dans la majorité du barrage (Vergeynst *et al.*, 2017). Un

barrage suspendu qui est large peut représenter un obstacle important pour l'écoulement de la glace et de l'eau, en plus de nécessiter une augmentation importante de température et de débit pour qu'il fonde ou qu'il soit mobilisé (Turcotte *et al.*, 2017). Par conséquent, ils peuvent provoquer des pics saisonniers du niveau d'eau dans les tronçons où aucun embâcle de largeur importante ne se forme ou dans les rivières régulées par des barrages hydroélectriques (Beltaos, 2021 ; Sui *et al.*, 2002). Le pic du niveau d'eau provoqué par un barrage suspendu dépend de divers facteurs supplémentaires à la formation d'un embâcle typique, tels que l'apport en amont et les propriétés du frasil, qui varient en fonction des conditions météorologiques et de la longueur du tronçon libre de glace en amont du barrage suspendu où est généré le frasil (Beltaos, 2021). Les petites rivières avec de fortes pentes peuvent connaître des inondations liées à la formation de barrages suspendus de frasil (Beltaos, 2021 ; Turcotte *et al.*, 2017). Toutefois, la montée du niveau d'eau provoquée par les barrages suspendus est généralement relativement lente et peut persister durant une période de temps prolongée (Madaeni *et al.*, 2020).

B) TYPES D'EMBACLES SELON LA SAISON

Selon la saison et les conditions météorologiques associées, il est aussi possible d'identifier trois types d'embâcles : embâcle de gel (*"freezeup jam"*), embâcle de fin d'hiver ou de débâcle (*"breakup jam"*/*"end of winter"*) (Madaeni *et al.*, 2020) et embâcle d'hiver (*"mid-winter"*) (Arsenault-Boucher *et al.*, 2025). Les types d'embâcles dépendent essentiellement des conditions météorologiques, du débit et de la compétence mécanique de la glace (Madaeni *et al.*, 2020).

Au Québec, les embâcles qui ont lieu durant l'hiver ne se forment pas selon les mêmes conditions hydro-climatiques que ceux qui se produisent à la fin ou au début de l'hiver (Arsenault-Boucher *et al.*, 2025 ; Das *et al.*, 2023). Les embâcles de glace d'hiver sont associés à des conditions hydro-climatiques plus extrêmes, telles que des évènements importants de pluies et une hausse importante du débit (Arsenault-Boucher *et al.*, 2025). Les moyennes des précipitations neigeuses peuvent également être reliées aux embâcles de glace,

mais avec une moins grande relation (Arsenault-Boucher *et al.*, 2025). En comparaison, les embâcles de printemps ou de fin d'hiver sont associés à une combinaison de conditions de l'hiver précédent, soit la quantité de neige accumulée et la quantité de jours ayant des conditions de température favorables au gel de la rivière (degrés jours de gel), et des conditions hydro-climatiques soudaines à la fin de l'hiver, comme des évènements importants de pluies et une hausse importante du débit (Arsenault-Boucher *et al.*, 2025). Les épisodes d'embâcles de glace durant l'hiver peuvent atteindre une magnitude similaire aux embâcles de printemps, puisqu'ils peuvent entraîner une hausse du niveau de l'eau et geler sur place pour persister durant la saison hivernale (Das et Lindenschmidt, 2021). Quant à eux, les embâcles de début d'hiver peuvent être associés à des températures très froides au début de la saison de gel, ce qui mène à une production importante de frasil dans les secteurs de la rivière en amont avec un écoulement plus turbulent alors que le couvert de glace n'est pas encore complètement formé en aval par la glace de rive (Bergeron *et al.*, 2011). Les embâcles de début d'hiver peuvent également geler en place et contribuer à la formation du couvert glaciel sur la rivière (Beltaos, 2013a).

Historiquement, une tendance vers des débâcles de fin d'hiver plus précoces a été relevée dans la majorité des rivières canadienne entre 1950 et 2016 (Chen et She, 2020). En lien avec le réchauffement climatique, il est attendu que la période où le couvert de glace est présent sur les rivières soit écourtée en raison de la hausse des températures de l'air et de l'eau au début et à la fin de l'hiver (Das & Lindenschmidt, 2021). De plus, les épisodes d'embâcles de glace hivernaux seront en hausse en prenant en compte les changements climatiques (Das et Lindenschmidt, 2021 ; Turcotte *et al.*, 2020). Concernant les embâcles de gel, des températures plus chaudes mèneraient à une diminution de la production de frasil (Barrette et Lindenschmidt, 2023). En revanche, l'augmentation du débit en lien avec l'augmentation des précipitations pourrait favoriser la production de frasil, surtout si la formation du couvert de glace est retardée (Barrette et Lindenschmidt, 2023). De plus, l'augmentation de l'occurrence des embâcles de milieu d'hiver pourraient favoriser la production de frasil en libérant la rivière de son couvert de glace (Barrette et Lindenschmidt, 2023). Les embâcles de gel pourraient donc se produire plus tard dans la saison (Barrette et

Lindenschmidt, 2023). Localement, il est estimé que la rivière Matane (Bas-Saint-Laurent), qui est située environ 50 km à l'est de la rivière Mitis, connaîtra davantage d'embâcle de glace associés à des évènements de pluies sur la neige si un couvert glaciel assez épais et résistant est encore présent (Turcotte *et al.*, 2020). Toutefois, l'impact des changements climatiques sur la magnitude des évènements d'embâcle demeure inconnu, puisqu'il n'a pas encore été déterminé si les événements seront plus ou moins intenses (Das et Lindenschmidt, 2021).

1.2.2.2 *Javes*

Lorsqu'un embâcle de glace cède soudainement, sa résistance à l'écoulement diminue drastiquement et le volume d'eau contenu dans l'embâcle et retenu en amont est libéré (Beltaos, 2008b). L'embâcle descend alors en aval sous la forme d'une vague, nommée *"jave"* en anglais de la combinaison de *"jam"* pour embâcle et *"wave"* pour vague ou onde de crue (Beltaos, 2008b). L'effet de la *jave* dépend des caractéristiques du relâchement de l'embâcle et des conditions de la glace en aval (Lindenschmidt, 2024). La *jave* peut être fractionnée en deux phases, soit la vague induite et l'amoncellement de glace mis en mouvement (train de glace ou *"ice run"* en anglais) (Nafziger *et al.*, 2016). De façon générale, la vague se déplace vers l'aval plus rapidement que le train de glace, celui-ci perdant de la vitesse au fur et à mesure de sa descente (Nafziger *et al.*, 2016).

Durant la relâche de l'embâcle, le niveau de l'eau baisse rapidement en amont de l'embâcle, ce qui peut mener au piégeage de poissons et d'autres organismes aquatiques dans la plaine inondable (Beltaos, 2008b) et au transport d'un grand volume de sédiments (Beltaos, 2008b, 2015). En aval, le niveau d'eau et la vitesse de l'écoulement augmenteront rapidement, ce qui peut briser et mettre en mouvement le couvert de glace qui s'y trouve, contribuant ainsi au volume de glace du train de glace (Beltaos, 2008, 2017 ; Lindenschmidt, 2024). En présence d'un couvert de glace suffisamment résistant en aval, celui-ci peut résister aux forces de la *jave* et permettre la formation d'un nouvel embâcle de glace (Beltaos, 2008, 2017 ; Lindenschmidt, 2024). Par contre, si un autre embâcle est déjà présent en aval, la *jave*

peut en augmenter sa magnitude ou causer son relâchement (Lindenschmidt, 2024). En effet, l'arrivée de la *jave* peut potentiellement augmenter le volume de glace de l'embâcle et modifier sa morphologie, ce qui entraîne une élévation du niveau des eaux de refoulement (Lindenschmidt, 2024). Si l'embâcle n'est pas assez résistant à cet apport de volume de glace et d'eau, la *jave* peut causer le relâchement de l'embâcle de glace, créant ainsi une nouvelle *jave*, qui va à son tour déferler plus loin en aval (Lindenschmidt, 2024). Si les conditions le permettent, ces suites d'évènements peuvent se perpétuer en descendant la rivière, formant ainsi une cascade d'embâcles (Nafziger *et al.*, 2016).

1.3 INTÉGRATION DES CONNAISSANCES

Hermans *et al.* (2022, p.1129) définissent l'intégration des connaissances comme « a collective process of synthesizing or combining specialized yet differentiated local and scientific knowledge possessed by local people and scientists into a common knowledge that is efficient, flexible, and within the scope of decision-making ». En gestion de l'environnement, l'intégration de différents types de connaissances parfois divergentes peut permettre le développement de nouvelles théories, méthodes et savoirs (Mackinson, 2001 ; Raymond *et al.*, 2010). L'intégration des connaissances occupe aujourd'hui des problématiques environnementales diverses comme la conservation de la biodiversité, la gestion des risques ou les savoirs sur les changements climatiques (Gagnon et Berteaux, 2009 ; Hermans *et al.*, 2022 ; Raymond *et al.*, 2010 ; Tengö *et al.*, 2014). Ultimement, l'intégration des connaissances promeut une meilleure compréhension commune des problématiques de gestion environnementale (Mackinson, 2001 ; Raymond *et al.*, 2010).

Différentes approches cherchant à combiner plusieurs systèmes de connaissances (locaux, autochtones, académiques) sont reconnues (Bullen & Miles, 2024 ; Cheung *et al.*, 2016 ; Elineau *et al.*, 2020 ; Gagnon & Berteaux, 2009 ; Gillson *et al*., 2019 ; Mackinson, 2001 ; Pagneux *et al*., 2011 ; Raymond *et al.*, 2010 ;Tengö *et al*., 2014). Cependant, les limites de ces différents types ou modèles possibles d'intégration des connaissances demeurent flous (Apetrei *et al.*, 2021 ; Bwambale *et al.*, 2020 ; Hermans *et al.*, 2022). Selon

Hermans *et al*. (2022), il est tout de même possible d'illustrer différents niveaux d'intégration en identifiant les extrêmes et en les reportant sur un spectre (Figure 2, **III**). Ainsi, la simple validation des connaissances académiques par des connaissances locales demeure un bas niveau d'intégration. En revanche, les approches de recherche participatives qui cherchent à combiner plusieurs connaissances provenant de différents systèmes de connaissances par une co-construction à toutes les étapes d'un processus de recherche peuvent être considérées comme ayant un haut niveau d'intégration des connaissances. Quant à elle, l'approche des preuves multiples (« *multiple evidence base approaches* ») de Tengö *et al.* (2014), propose de considérer les systèmes de connaissances autochtones, locaux et académiques comme étant complémentaires et pouvant contribuer à enrichir le portrait et la compréhension d'un phénomène naturel. Selon cette approche, l'évaluation des connaissances utiles pour la question étudiée doit se faire au sein des systèmes de connaissances plutôt qu'entre différents systèmes de connaissances. De cette façon, les connaissances sont mises en valeur selon les termes de leur propre système de connaissances, autant pour les systèmes de connaissances autochtones que les systèmes de connaissances académiques de différentes disciplines (ex. sciences naturelles vs sociales). Au sein de l'approche des preuves multiples, Tengo *et al.* (2014) soulignent qu'il importe de distinguer l'intégration des connaissances et l'approche parallèle. L'intégration des connaissances se limite à valider les connaissances académiques avec les connaissances locales, contrairement à l'approche parallèle, qui est centrée autour des complémentarités et des convergences à travers le système de connaissances. Face à ces conceptualisations différentes, il importerait alors que les recherches utilisant l'intégration des connaissances définissent leurs postures par rapport à l'approche utilisée, ce qui permettrait d'avoir un terrain d'entente commun avant de discuter de projets intégratifs (Hermans *et al.*, 2022 ; Raymond *et al.*, 2010). La posture des personnes qui font l'intégration doit être définie et revisitée constamment, tout en gardant une flexibilité à travers les méthodes utilisées (Raymond *et al.*, 2010). Effectivement, ce n'est pas seulement au rendu final qu'il faut s'attarder à la valorisation de chaque connaissance, mais aussi durant la planification et la réalisation du processus intégratif (Raymond *et al.*, 2010).

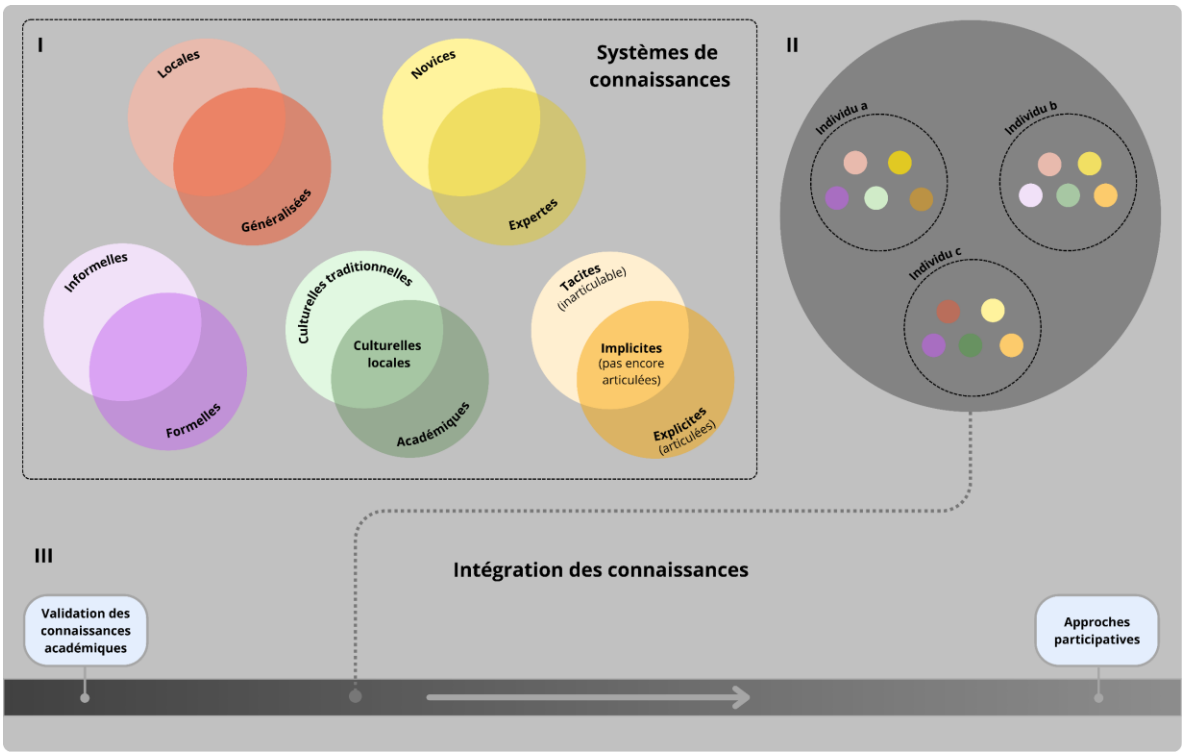


Figure 2. Schématisation de l'approche d'intégration des connaissances selon les travaux de Hermans et al. (2022) et Raymond et al. (2010). **I** : Systèmes de connaissances ; **II** : Exemple de connaissances provenant de différents systèmes et de trois personnes différentes, qui peuvent être intégrées au sein d'un même projet ; **III** : Positionnement du projet sur le spectre de l'intégration des connaissances et ses différents extrêmes de niveaux d'intégration

Dans le cadre de ce projet, l'intégration des connaissances est vue comme un processus, au sein duquel la posture des personnes qui la font doit être nommée, transparente, et reconnue à toutes les étapes de ce processus. Dans la présente recherche, ce sont les auteur.es, avec une posture académique, qui ont manœuvré l'intégralité du processus. Les champs d'expertise de l'équipe de recherche comprennent la géographie, l'hydrogéomorphologie, l'hydraulique et les sciences sociales relatives à la gestion de l'environnement. Au commencement du processus d'intégration, les systèmes de connaissances de l'équipe de recherche par rapport aux embâcles de glace variaient de novices à expertes et de locales à généralisées. Ces connaissances ont toutefois été acquises dans un contexte académique, ce qui fait en sorte que notre posture académique a nécessairement influencé le processus, que

ce soit durant la réflexion quant à l'approche d'intégration des connaissances, le recrutement des personnes participantes, la cueillette de données, l'analyse ou l'interprétation. En conséquence, le projet pourrait se trouver assez bas sur le spectre de l'intégration des connaissances du cadre théorique de Hermans *et al*. (2022) (voir la ligne pointillée sur la Figure 2, **III**). Dans le cadre de l'approche des évidences multiples de Tengö *et al.* (2014), la méthode utilisée ici se situe à l'interface de l'approche parallèle et de l'intégration des connaissances, alors que les connaissances locales ne seront pas utilisées pour valider les connaissances académiques, mais pour être intégrées avec les connaissances académiques afin d'explorer les lieux de convergence, de divergence et de complémentarité entre les connaissances.

En utilisant différents systèmes de connaissances, leur catégorisation peut constituer un enjeu pour les approches d'intégration des connaissances (Raymond *et al.*, 2010). En ce sens, la distinction en termes de système de connaissances « locales », « académiques » ou « hybrides » (issues de l'intégration des connaissances et/ou de recherche transdisciplinaire) peut être considérée comme étant trop simpliste (Hermans *et al.*, 2022 ; Raymond *et al.*, 2010). En effet, cette catégorisation ne tient pas suffisamment compte de la manière dont les personnes apprennent, donnent un sens aux nouvelles informations, ou aux contextes sociaux et culturels qui influencent leur compréhension (Apetrei *et al.*, 2021 ; Raymond *et al.*, 2010 ; Turnbull, 1997). Tel que souligné par Raymond *et al.* (2010), il est alors important de s'attarder à l'identification et l'évaluation des différentes connaissances impliquées et à la manière dont elles peuvent être pertinentes dans les premières étapes du processus d'intégration des connaissances. Différents systèmes de connaissances peuvent donc être employés dans le cadre de l'approche d'intégration des connaissances (Figure 2, **I**). Le système des connaissances culturelles locales se distingue du système des connaissances culturelles traditionnelles, car il découle d'interactions plus récentes entre les humains et leur environnement, plutôt que d'être ancré dans des pratiques culturelles plus anciennes (Raymond *et al.*, 2010). Puis, en prenant le contexte de la gestion de l'eau comme exemple, les personnes gestionnaires de l'environnement peuvent avoir un système de connaissances tacites ou implicites sur les inondations, en ayant pas encore formulé ces connaissances ou

en ayant du mal à expliquer explicitement pourquoi elles savent ce qu'elles savent (Raymond *et al.*, 2010). En revanche, le système de connaissances explicites des gestionnaires réfère aux connaissances qui ont déjà été articulées, comme par l'entremise de rapports écrits, verbaux ou scientifiques (Raymond *et al.*, 2010). Ainsi, une même personne peut détenir des connaissances de différents systèmes sur un sujet, en fonction du contexte dans lequel elle les a acquises (la culture locale, le travail comme gestionnaire et/ou le milieu de la recherche académique, etc.), de l'étendue des connaissances de ce système (novices ou expertes), de leur dimension spatiale (localisée et/ou généralisée) et de la manière dont elle les partage (Figure 2, **II**).

L'approche peut également comporter plusieurs défis, tels que l'utilisation de méthodes multiples et celui de trouver les connaissances locales. En utilisant des méthodes qui proviennent de domaines différents et donc d'approches épistémologiques différentes, l'intégration peut rapidement devenir complexe (Raymond *et al.*, 2010 ; Tengö *et al.*, 2014). Par exemple, les méthodes qualitatives et quantitatives n'utilisent pas les mêmes critères de validation des données (Tengö *et al.*, 2014). Ensuite, les personnes qui détiennent des connaissances clés pour l'intégration peuvent être difficiles à trouver. Si elles ne sont pas rejointes, cela ne veut pas nécessairement dire que les connaissances du système de connaissances locales n'existent pas, cela peut simplement vouloir dire qu'elles n'ont pas été trouvées (Lane *et al.*, 2011). Ces défis sont importants à nommer, mais une des forces de l'approche est qu'elle offre une flexibilité à travers le processus, autant durant l'intégration de données provenant de différentes méthodes, que durant les efforts multiples de recrutement des personnes participantes pour rejoindre les personnes clés.

L'intégration des connaissances est donc utilisée ici comme une approche qui pourrait à la fois permettre de mieux comprendre les embâcles de glace, mais aussi de valoriser les connaissances locales de personnes riveraines et de gestionnaires dans un processus qui se veut le plus équitable possible, sans les hiérarchiser par rapport aux connaissances académiques.

1.4 SITE D'ETUDE

Le projet a été réalisé sur la rivière Mitis au Bas-Saint-Laurent (Québec, Canada). Cette rivière s'écoule des plateaux appalachiens vers l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, avec une aire drainée de 1 828 km^2 (Allard *et al.*, 2011 ; Massé *et al.*, 2020) (Figure 3). La rivière de 51 km de long détient deux tributaires majeurs, soit la rivière Mistigougèche et la rivière Neigette. Le projet a été réalisé sur un tronçon de 15 km de la rivière Mitis, qui traverse le village de Sainte-Angèle-de-Mérici, au Bas-Saint-Laurent (Québec, Canada). Ce secteur a été choisi car le village de 989 personnes subit régulièrement des inondations par embâcles de glace, allant de sévérité mineure à modérée (Gouvernement du Canada, 2022 ; Ministère de la Sécurité intérieure, 2025) et a été suivi à travers plusieurs études sur les dynamiques fluvio glacielles (Allard, 2010 ; Allard *et al.*, 2011 ; Benacchio, 2017 ; Bérubé, 2014 ; Biron *et al.*, 2018, 2019 ; Duguay *et al.*, 2021 ; Martel, 2019) et les inondations (Besnard, 2016 ; Dumont et Buffin-Bélanger, 2022 ; Jousse, 2012 ; Massé *et al.*, 2020, 2022).

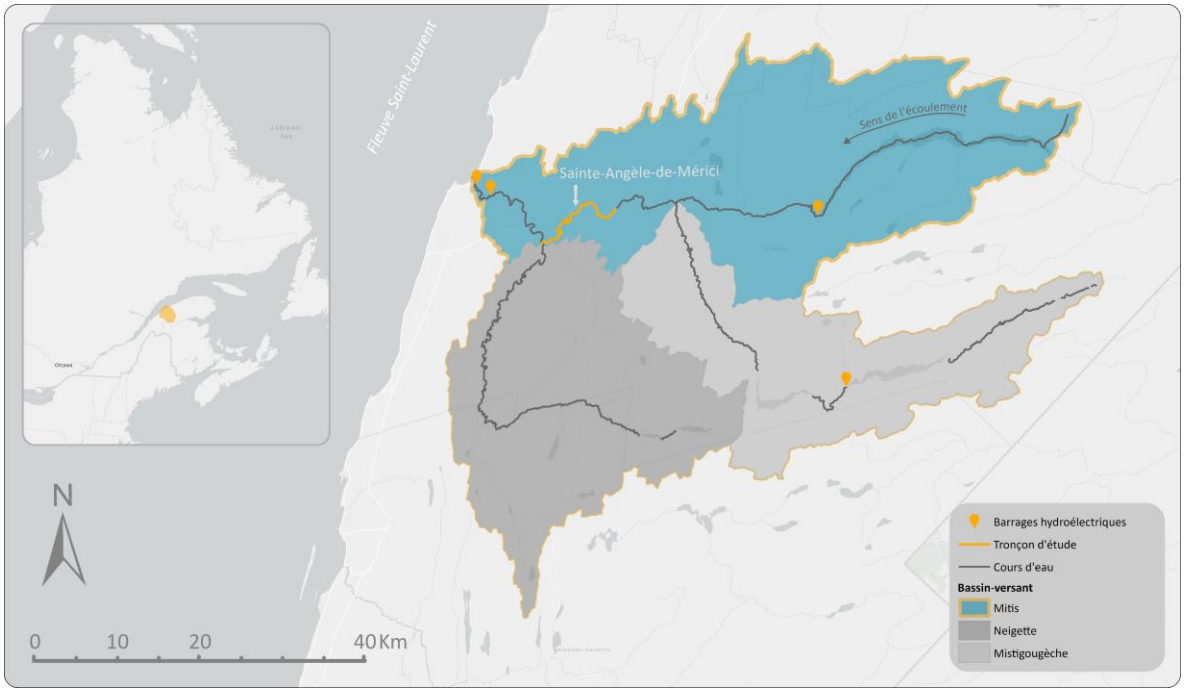


Figure 3. Localisation du site d'étude sur la rivière Mitis, à Sainte-Angèle-de-Mérici (Bas-Saint-Laurent) et ses bassins-versants principaux

1.5 METHODE

Dans le cadre du processus intégratif employé, différentes méthodes ont été appliquées en fonction du système de connaissances sur les embâcles de glace : le système de connaissances locales académiques et le système de connaissances locales expertes. Le terme « local » fait référence à la dimension spatiale des connaissances, soit la rivière Mitis. Le terme « expertes » fait allusion à l'étendue des connaissances locales des personnes riveraines et des gestionnaires.

1.5.1 Connaissances locales académiques

Pour les connaissances académiques locales à la rivière Mitis, les cicatrices glacielles et les conditions météorologiques précédant les événements d'embâcles historiques ont été utilisées pour comprendre la complexité du processus de formation d'embâcle de glace par inférence. Les cicatrices glacielles informent sur la spatialisation de la dynamique glacielle sur la rivière, alors que les conditions météorologiques renseignent sur la temporalité de cette dynamique et les facteurs clefs météorologiques qui expliquent la formation d'embâcle de glace. D'autres études qui couvrent les processus d'évolution du couvert glaciel et la dynamique glacielle du frasil, de barrages suspendus (Allard, 2010 ; Allard *et al.*, 2011 ; Bérubé, 2014), des sites de formation d'embâcle (Croquer Perez *et al.*, 2026) et d'inondation par embâcle de glace (Besnard, 2016) sur la rivière Mitis seront utilisées en discussion pour alimenter les connaissances locales académiques et l'intégration des connaissances dans la compréhension du processus de formation d'embâcle de glace.

Les cicatrices glacielles renseignent sur la spatialisation (position) des embâcles de glace et du transport de la glace associé dans le tronçon à l'étude (Boucher *et al.*, 2009b ; Lagadec *et al.*, 2015 ; Lubiniecki *et al.*, 2024). Ainsi, les positions de toutes les cicatrices ont systématiquement été relevées sur tous les arbres durant l'automne 2024 de l'amont vers l'aval sur le tronçon d'étude de la rivière Mitis (Figure 4). Les positions des cicatrices ont été relevées à l'automne, car c'est une période de l'année où la végétation riveraine est moins

dense, ce qui permet plus facilement le repérage des cicatrices sur les arbres. Chaque position (x, y) de cicatrice était relevée à l'aide d'un point GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Plusieurs cicatrices pouvaient donc être relevées sur un même arbre (un point GNSS par cicatrice). Toutes les cicatrices présentes sur les racines, le tronc et les branches des arbustes et des arbres vivants ont été prises en compte dans l'échantillonnage, qui a été réalisé sur les berges gauche et droite de la rivière. En revanche, pour être prises en compte, les cicatrices ne devaient pas être seules dans le secteur, afin de garantir qu'elles témoignaient bien d'une dynamique glacielle et non de l'impact d'un autre objet apporté par l'écoulement (ex. un arbre mort). Ensuite, ces positions ont été transférées dans un système d'information géographique (le logiciel *ArcGIS Pro*) pour faciliter leur interprétation et leur intégration avec les autres connaissances.

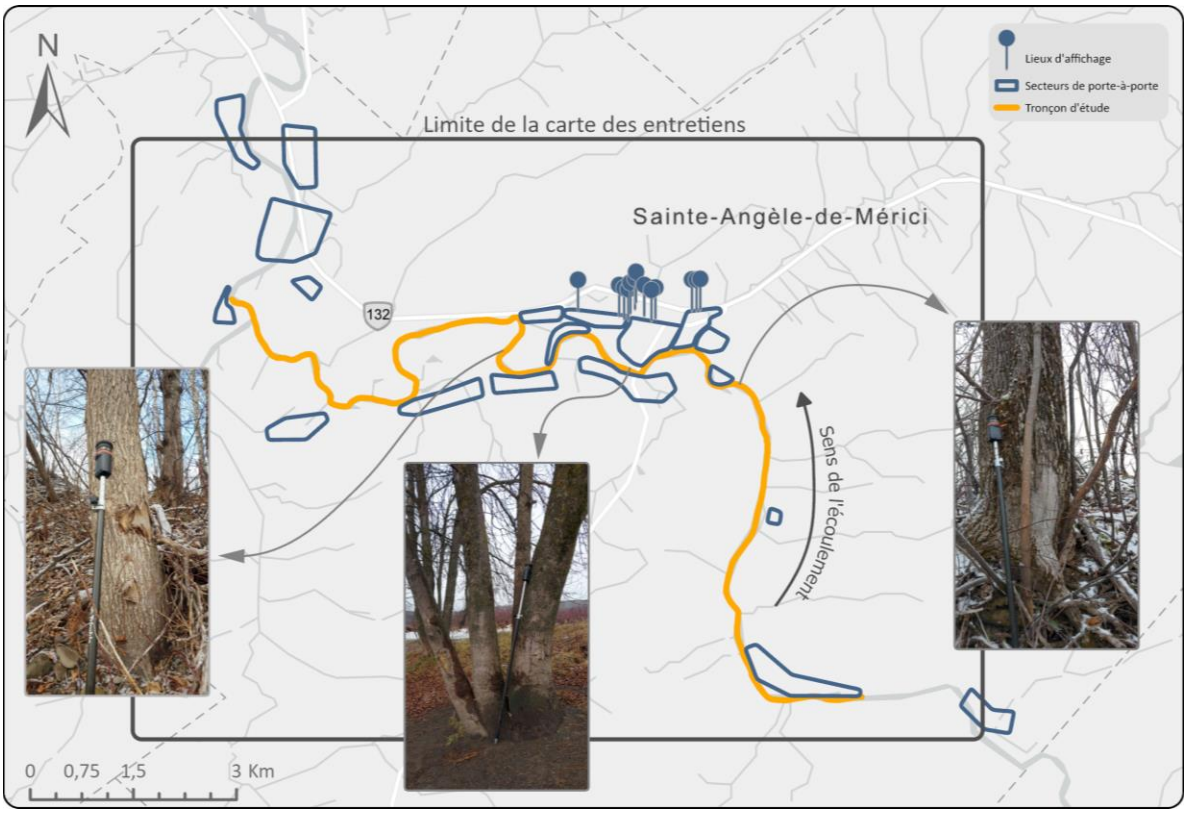


Figure 4. Spatialisation sur le tronçon d'étude de l'échantillonnage systématique des cicatrices glacielles et de la stratégie de recrutement pour les personnes riveraines

L’analyse des conditions météorologiques précédant les événements d’embâcles historiques a été réalisée avec des données météorologiques historiques de stations météorologiques. Les dates des embâcles historiques proviennent de la base de données du ministère de la Sécurité intérieure, qui regroupe des données de documents numériques, papiers, rapports d'événement, rapports de situation ou d’observations terrain (Ministère de la Sécurité intérieure, 2025). Cette base de données n’est pas uniforme et ne compile pas tous les évènements d’embâcles historiques. Ensuite, trois stations météorologiques situées à Mont-Joli (7055120, 7055121, 7055122), à une douzaine de kilomètres de Sainte-Angèle-de-Mérici, ont été utilisées. L’analyse météorologique historique se concentre sur les températures de l’air, l’épaisseur de la neige et les quantités de précipitations enregistrées durant les cinq jours précédents chaque embâcle observé. Respectivement, la station 7055120 a été utilisée pour les embâcles avant 2013, la station 7055121 pour les embâcles de 2014 et la station 7055122 pour les embâcles survenus après 2014.

1.5.2 Connaissances locales expertes

Pour les connaissances locales expertes, les personnes ont été recrutées avec l’intention de rencontrer des personnes avec un système de connaissances expertes par rapport aux embâcles de glace (personnes riveraines ou gestionnaires), soit des connaissances qui reflètent une expérience approfondie sur le sujet. Les personnes ayant un système de connaissances expertes peuvent reconnaître des tendances et des problèmes qui ne seront pas facilement identifiés par des personnes avec un système de connaissances novices (Raymond *et al.*, 2010). Dans le processus d’intégration de connaissances provenant de différents systèmes de connaissances, il est nécessaire d’identifier et d’évaluer les différents systèmes de connaissances en jeu et leur pertinence potentielle dès les premières étapes du processus (Raymond *et al.*, 2010). Dans cette perspective, seules les personnes détenant un système de connaissances expertes ont été ciblées, afin de répondre à l'objectif du projet et mener à une meilleure compréhension de l'aléa.

Quatre techniques de recrutement ont été utilisées pour maximiser les entrées dans la communauté et identifier des personnes expertes (Ellard-Gray *et al.*, 2015 ; Mackinson, 2001). Les personnes gestionnaires ont d'abord été contactées dans le cadre de leur emploi en supposant que leur système de connaissances expertes était lié à leur travail. Pour les personnes riveraines, du porte-à-porte été réalisé dans des secteurs habités de Sainte-Angèle-de-Mérici à proximité de la rivière et des affiches (Annexe I. Affiches de recrutement pour les personnes riveraines) ont été posées dans des lieux publiques variés (garage, bibliothèque, école, etc.) (Figure 4). Le porte à porte a été effectué à trois moments différents, soit deux journées de semaine différentes (de l'après-midi au début de soirée) et une journée de fin de semaine (journée entière). Finalement, les personnes recrutées ont été invitées à partager le contact d'autres personnes riveraines qui auraient des connaissances à partager selon le principe de l'échantillonnage « boule de neige ».

L'enquête a été menée en deux temps auprès des personnes recrutées : d'abord par un questionnaire (en ligne et papier) à l'automne 2024 pour l'ensemble des personnes recrutées, puis par un entretien semi-dirigé individuel à l'hiver 2025 pour les personnes expertes identifiées. Le questionnaire avait pour objectif de relever l'étendue du système connaissances et de cibler les personnes ayant un système de connaissances expertes, étant donné que l'évaluation du système de connaissances et de leur pertinence potentielle est une étape importante à faire au début du processus intégratif (Raymond *et al.*, 2010). Il contenait des questions sur le portrait de la personne interrogée, l'entendue de son système de connaissances, comment elles ont été générées, comment elles sont articulées et comment elles sont accessibles, en s'inspirant du cadre théorique de Raymond *et al*. (2010) pour identifier les systèmes de connaissances. Par exemple, la personne répondante devait décrire un embâcle de glace, identifier où et quand les embâcles de glace se forment sur la rivière Mitis, décrire des évènements d'embâcles vécus et expliquer comment elle partage ses connaissances à son entourage (Annexe II Questionnaire destiné aux personnes riveraineset Annexe III. Questionnaire destiné aux gestionnaires).

Deux versions du questionnaire ont été distribuées, soit une version pour les personnes riveraines et une version pour les gestionnaires. Entre elles, seulement les sections du portrait de la personne et de l'articulation et l'accessibilité des connaissances différaient (Annexe II Questionnaire destiné aux personnes riveraineset Annexe III. Questionnaire destiné aux gestionnaires). Les gestionnaires répondaient au questionnaire par téléphone. Pour les personnes riveraines, le questionnaire était accessible en ligne et papier (les réponses pouvaient ensuite être postées à l'équipe de recherche). Certaines personnes ont préféré remplir le questionnaire durant le porte-à-porte.

Les stratégies mises en place ont permis le recrutement de 25 personnes riveraines et de sept gestionnaires pour la passation du questionnaire. Avant leur analyse, les réponses ont été anonymisées et un code a été attribué pour assurer la confidentialité de chaque personne participante (ex. G02 pour une personne gestionnaire et R16 pour une personne riveraine). Une analyse quantitative et qualitative des réponses a ensuite été réalisée pour cibler les personnes ayant un système de connaissances expertes (Tableau 1 et Annexe IV. Critères d'analyse détaillés pour cibler les personnes expertes à partir des réponses du questionnaire pour plus de détails). L'analyse quantitative a mené à la sélection de trois personnes riveraines et six gestionnaires. Puis, l'analyse qualitative a permis de cibler trois autres personnes riveraines qui avaient un moins bon score quantitatif, mais qui connaissaient différents secteurs de la rivière où il y avait une dynamique glacielle. L'analyse quantitative et qualitative des réponses a permis de valoriser les personnes qui habitent le territoire depuis longtemps, qui ont vécu des épisodes d'embâcles sur la rivière Mitis, qui connaissent où et quand ils peuvent se former et qui détiennent une diversité de sources d'informations et de réseaux de partage de l'information. Par la suite, six gestionnaires et une personne riveraine ont accepté de participer à l'entretien.

Tableau 1. Critères d'analyse des réponses du questionnaire

Section	Question	Type de question	Critères d'analyse	Analyse quantitative	Analyse qualitative
Portrait de la personne	Dans quel secteur de la rivière Mitis votre terrain et/ou votre résidence se situe(nt)?	Choix de réponse	Secteur de la rivière		•
	Quel type de résidence possédez-vous en bordure de la rivière Mitis ?	Choix de réponse	Permanente ou secondaire		•
	Depuis combien de temps possédez-vous votre terrain et/ou y résidez-vous?	Question fermée	Catégorie de temps		•
	À quelle fréquence des embâcles de glace s'y forment?	Choix de réponse	Fréquence	•	
Étendue du système de connaissances	Décrivez-nous ce qu'est pour vous un embâcle de glace.	Question à développement	Définition d'embâcle de glace	•	
	Quand est-ce que les embâcles de glace ont tendance à se former sur la rivière Mitis?	Choix de réponses	Référence à des périodes propices à former des embâcles	•	
	Où est-ce que les embâcles de glace ont tendance à se former sur la rivière Mitis?	Choix de réponses	Référence à des sites de formation d'embâcle	•	
Construction du système de connaissances	Pouvez-vous nous décrire le(s) évènement(s) d'embâcle de glace et/ou de conséquence(s) d'embâcle(s) de glace dont vous avez été témoin sur la rivière Mitis?	Question à développement	Utilité à la cartographie	•	•
	À quelle fréquence avez-vous été témoin d'embâcle de glace et/ou de conséquence(s) d'embâcle(s) de glace sur la rivière Mitis?	Choix de réponse	Fréquence	•	•
	Comment en êtes-vous arrivé(e) à vous informer sur les embâcles de glace?	Choix de réponses	Diversité des sources (vécu, entourage, médias, etc.)	•	
Articulation et accessibilité	À qui les partagez-vous?	Question à développement	Diversité des types (ami.es, famille, voisin.es, municipalité, etc.)	•	
	Sous quelle forme les partagez-vous?	Choix de réponses	Diversité des types (oral, photo/vidéos)	•	

Les éléments en gris concernent les questions qui ont seulement été posées aux personnes riveraines

Durant les entretiens individuels et enregistrés, les personnes ciblées ont été invitées à discuter des embâcles qu'elles ont vécus autour d'une carte du site d'étude (Annexe V. Guide d'entretien destiné aux personnes riveraines et Annexe VI. Guide d'entretien destiné aux gestionnaires). Les entretiens duraient environ une heure et demie et étaient réalisés dans une salle avec une table, soit au milieu de travail de la personne, chez elle ou à la bibliothèque de l'université, selon sa préférence. Les thématiques abordées concernaient le portrait de la personne et son lien avec les embâcles de glace de la rivière Mitis, la cartographie des embâcles et ses connaissances générales sur la formation des embâcles[1]. Deux cartes plastifiées étaient utilisées durant l'entretien, soit une carte qui représentait l'ensemble du site d'étude (voir sa délimitation dans la Figure 4) et une carte avec des agrandissements plus serrés sur la rivière Mitis. Deux versions de chaque carte étaient également disponibles pour faciliter la cartographie de la personne participante : une version avec la topographie et les infrastructures (routes et bâtiments) et une version avec l'image aérienne et les infrastructures. Des papiers et des crayons effaçables de différentes couleurs étaient à la disposition de la personne pour qu'elle puisse illustrer ses connaissances et préciser ses idées. Les éléments dessinés pouvaient être effacés durant l'entretien, ce qui demandait à la personne participante de devoir redessiner des éléments malencontreusement effacés, mais lui permettait de se corriger au besoin. Des photographies des cartes étaient prises à la fin de l'entretien pour pouvoir les géoréférencer dans un système d'information géographique (le logiciel *ArcGIS Pro*). Par photographie, six points étaient géoréférencés avec la transformation de deuxième ordre polynomial pour corriger l'angle de vue de la photographie et atteindre une erreur résiduelle (somme des erreurs quadratiques moyennes) de 0,00 mètre.

Ensuite, les connaissances cartographiées ont été numérisées dans le même logiciel pour pouvoir être plus facilement intégrées avec les autres connaissances. À partir des photographies géoréférencées, chaque embâcle ou secteur d'embâcle délimité durant les entretiens a été retracé selon ses limites en amont et en aval, en le ramenant au talweg de la

[1] La cartographie des zones inondées par embâcles, également réalisée durant les entretiens, sera abordée dans le deuxième chapitre, avec la méthode qui lui revient.

rivière Mitis. Les secteurs d'embâcle de glace cartographiés ont été illustrés en fonction du nombre de mention pour faciliter leur interprétation et évaluer leur exactitude, étant donné que l'incertitude liée à chaque délimitation n'a pas été évaluée. En effet, certaines délimitations ont plus d'incertitudes que d'autres, malgré que ce sont des personnes expertes qui les ont réalisées. Par exemple, une personne pouvait identifier la position du pied d'un embâcle observé, mais pas sa tête ou identifier qu'elle n'était pas certaine de l'ensemble de sa délimitation, etc. Le choix a donc été fait de superposer les délimitations d'embâcles pour permettre de spatialiser l'exactitude en fonction de la fréquence de mention.

Puis, les entretiens enregistrés ont été retranscrits. Les unités de sens ont été codifiées dans le logiciel *NVivo* et une analyse thématique verticale et horizontale a été réalisée d'après les codes et les catégories identifiés, soit l'expérience des personnes répondantes par rapport aux embâcles de glace (Tableau 2) et les causes de formation d'embâcles de glace (Tableau 3).

Tableau 2. Expériences des personnes participantes par rapport aux embâcles de glace mentionnées durant les entretiens semi-dirigés

Expérience	**Description**
Personnelle	Expérience hors du milieu académique et/ou du cadre du travail
Professionnelle	Expérience dans le cadre du travail
Académique	Expérience dans le milieu académique
Collaboration	Expérience de collaboration avec d'autre(s) personne(s) ou organisme(s)

Tableau 3. Catégorisation des causes nommées par les personnes participantes comme étant responsable de la formation d'embâcle de glace sur la rivière Mitis

Cause	Description
Dynamique fluviale	Dynamique du cours d'eau (liée au transport des sédiments, à la structure de l'écoulement et/ou à la morphologie)
Couvert de glace	Caractéristique du couvert de glace
Météorologiques	Éléments météorologiques (température et précipitations)
Obstacle à l'écoulement	Obstacle à l'écoulement de la glace (ni morphologique, ni glacielle)
Bassin-versant	Orientation du bassin-versant
Gestion	Gestion du niveau de l'eau de la rivière Mitis
Anthropisation des berges	Anthropisation des berges de la rivière Mitis
Modification anthropique	Modification anthropique du tracé de la rivière ou du lit de la rivière

Une analyse des liens que les personnes faisaient entre les causes a aussi été réalisée. Pour ce faire, les liens étaient compilés en fonction des causes qui étaient nommés ensemble pour expliquer la formation d'un ou de plusieurs embâcles. Ensuite, ces liens ont été compilés sur le logiciel *Gephi* pour pouvoir les spatialiser avec l'algorithme Force atlas (Annexe VII. Spatialisation des liens entre les causes). Cet algorithme déplace les éléments (ici les causes de formation d'embâcles) en fonction de la force de leurs liens (Jacomy *et al.*, 2014). Les éléments plus connectés seront rapprochés, alors que les éléments moins connectés seront éloignés. L'algorithme a donc permis de placer les causes en fonction de la force des liens nommés durant les entretiens. Finalement, chaque lien identifié a été illustré pour pouvoir identifier les liens réalisés entre trois causes ou plus.

Le recrutement des personnes participantes, tout comme leur participation à la réalisation de questionnaires et d'entretiens, a été réalisé avec l'appui du Comité d'éthique de la recherche de l'université du Québec à Rimouski par l'obtention d'un certificat d'approbation éthique pour la recherche avec des êtres humains (Annexe VIII. Certificat d'éthique et son renouvèlement). Toutes les personnes participantes pouvaient obtenir une copie de leur questionnaire et/ou de la retranscription de leur entretien, tout comme revenir sur leurs réponses et les retirer ou y appliquer des modifications. Certaines personnes ont voulu appliquer cette dernière option et leurs réponses ont été modifiées en conséquence.

Dans la prochaine section, les portraits des personnes participantes sont détaillés section selon leur expérience par rapport aux embâcles de glace. Ensuite, les résultats quant aux secteurs d'embâcles nommés durant la cartographie[2] sont intégrées avec les connaissances académiques, tout comme les causes de formation d'embâcles de glace nommés durant la portion de l'entretien sur la cartographie et les connaissances générales des embâcles de glace.

1.6 RESULTATS

1.6.1 Portraits des personnes locales expertes

Pour cette section, les détails sur les expériences exactes des sept personnes répondantes à l'entretien ainsi que l'employeur des gestionnaires ne seront pas décrits, par respect de la confidentialité de ces personnes. Des extraits ne seront donc pas utilisés, afin que la description des résultats ne puisse pas identifier les personnes répondantes. Les personnes rencontrées avaient de l'expérience par rapport aux embâcles de glace sur la rivière Mitis (système de connaissances locales) ou ailleurs (système de connaissances généralisées) pour des périodes variées (peu ou très longtemps). L'expérience des personnes répondantes par rapport aux embâcles de glace a été séparée en quatre catégories, soit personnelle, professionnelle, académique et collaboration (Tableau 2).

Les personnes qui avaient une expérience personnelle envers les embâcles de glace allaient sur le terrain pour faire des observations de dynamique glacielle durant leur temps personnel. Ces personnes avaient des profils variés, avec des systèmes de connaissances locales et/ou généralisées, depuis peu ou très longtemps et avaient fait peu ou beaucoup d'observations sur la rivière Mitis.

[2] La méthodologie et les résultats liés à la cartographie des zones inondables par embâcles de glace réalisée durant les entretiens seront détaillés plus en profondeur dans le deuxième chapitre.

Pour les personnes qui avaient un système de connaissances basées sur une expérience professionnelle par rapport aux embâcles de glace, deux portraits peuvent être identifiés. Certaines personnes avaient des expériences professionnelles locales sur la rivière Mitis, alors que d'autres personnes avaient des expériences professionnelles surtout généralisées. Les personnes dont les connaissances étaient seulement locales connaissaient une plus grande diversité de secteurs propices à la formation d'embâcle sur la rivière Mitis que les personnes qui avait des connaissances surtout généralisées. Ces deux types de personnes nommaient des causes diversifiées de formation d'embâcle, bien que pour les personnes dont les connaissances professionnelles étaient généralisées, les causes nommées n'étaient pas basées sur des observations sur la rivière Mitis.

Les personnes qui avaient une expérience professionnelle et/ou personnelle depuis très longtemps par rapport à la dynamique glacielle locale de la rivière Mitis couvraient aussi une plus grande diversité de secteurs propices à former des embâcles sur la rivière. Les causes nommées étaient également reliées à des observations locales spécifiques à la rivière Mitis.

Pour les personnes qui avaient un système de connaissances qui provenait d'une expérience académique, les causes étaient surtout issues de connaissances généralisées et théoriques sur les embâcles de glace et non grâce à de multiples observations locales d'embâcle de glace réalisées sur la rivière Mitis. Toutefois, ces personnes n'avaient pas seulement des connaissances du milieu académique, mais aussi personnelle, de collaboration et professionnelles.

Dans le même sens, les personnes qui avaient surtout un système de connaissances basé sur des expériences de collaboration concernant les embâcles de glace sur la rivière Mitis connaissaient moins de secteurs propices à former des embâcles de glace sur la rivière Mitis et leur système de connaissances était moins basé sur des observations de dynamiques glacielles locales.

1.6.2 Spatialisation de la dynamique glacielle

La spatialisation de la dynamique glacielle a été mise en évidence en fonction du nombre de mentions des embâcles de glace durant les entretiens et la présence de cicatrices glacielles sur le terrain qui témoignent de mouvements de glace. En fonction de la convergence et de la complémentarité de ces connaissances, six secteurs peuvent être identifiés à travers le site d'étude, séparés par des pointillés sur la Figure 5. Les secteurs où les connaissances sont complémentaires correspondent à des endroits identifiés par un seul type de connaissances (entretiens ou cicatrices glacielles). Les connaissances peuvent également être complémentaires dans les secteurs où elles sont inégales (nombre élevé de mentions avec cicatrices éparses ou faible nombre de mentions avec forte densité de cicatrices). En revanche, les secteurs où les connaissances sont convergentes correspondent à des zones identifiées par les deux types de connaissances de façon équivalente.

En commençant par l'amont, le premier secteur (I) a un tronçon où se forment des embâcles selon une personne, alors que le repérage des cicatrices n'y a pas été effectué. Dans le deuxième secteur (II), les connaissances sont complémentaires, puisque c'est un secteur qui n'est pas nommé dans les entretiens, mais où plusieurs cicatrices ont été observées. Le troisième secteur (III) connaît une convergence des connaissances, étant donné que c'est un secteur désigné par quelques personnes où des cicatrices ont également été observées. Le quatrième secteur (IV) est mentionné par toutes les personnes participantes sans exception, avec des tronçons du secteur mentionnés par minimalement quatre personnes. Des cicatrices y sont aussi présentes, mais moins densément à travers le secteur. Cela marque une certaine convergence là où des cicatrices ont été repérées, mais surtout une complémentarité avec les connaissances locales aux endroits où elles sont absentes. Le cinquième secteur (V) est celui où les connaissances convergent le plus, alors qu'il y a une forte densité de cicatrices à travers le secteur et que ce dernier a été nommé par une à cinq personnes comme étant un secteur à embâcle. En revanche, le dernier secteur (VI) a été nommé seulement par une personne, ce qui est complémentaire avec les cicatrices glacielles présentes. D'ailleurs, leur présence est

plus dense en amont de ce secteur, comparativement au reste du secteur où elles sont plus éparses.

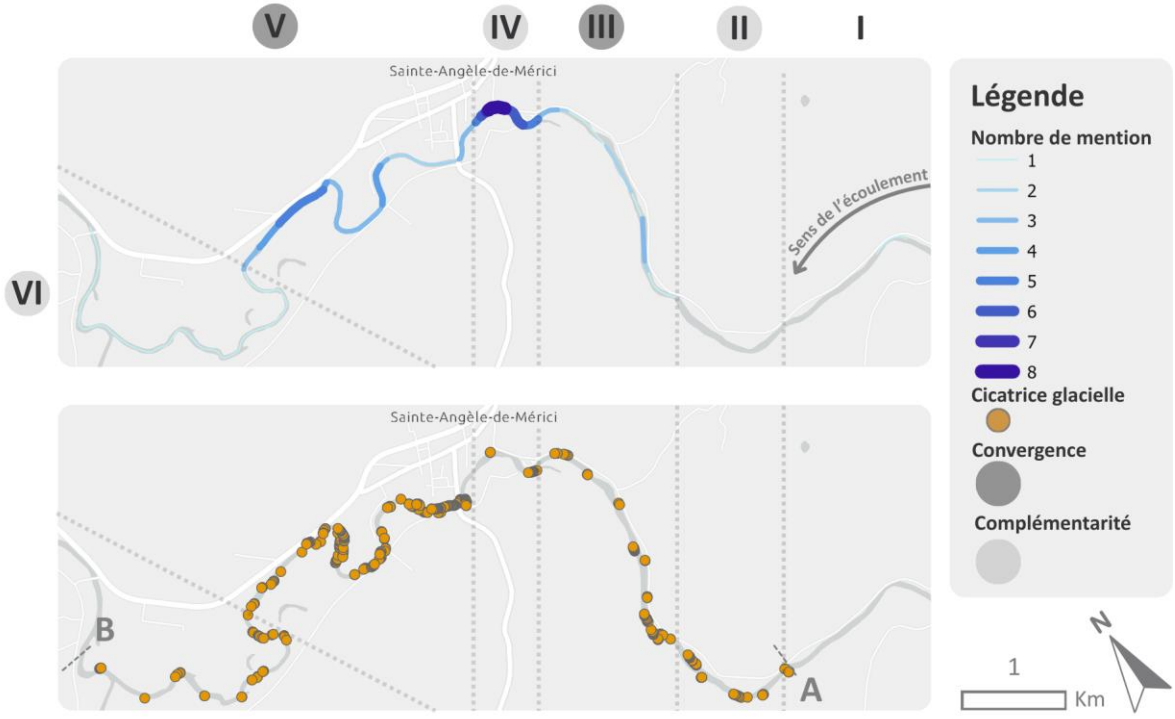


Figure 5. Spatialisation de la dynamique glacielle sur la rivière Mitis à proximité de Sainte-Angèle-de-Mérici dans six secteurs déterminés en fonction de la convergence et de la complémentarité des connaissances, soit les délimitations des embâcles de glace réalisées durant les entretiens et la position des cicatrices glacielles systématiquement relevées du point A au point B.

Pour expliquer cette spatialisation, plusieurs causes ont été nommées durant les entretiens, liées à la dynamique fluviale de la rivière, aux caractéristiques du couvert de glace, à la présence d'obstacle à l'écoulement, à l'orientation du bassin-versant, à l'anthropisation des berges et à la modification anthropique du tracé de la rivière. Lorsque prises ensemble, ces causes mènent à un portrait détaillé des processus opérant la dynamique des embâcles de la rivière Mitis, aidant ainsi à comprendre leurs spécificités.

1.6.2.1 Dynamique fluviale

Des causes liées à la dynamique fluviale ont été relevées durant les entretiens pour expliquer la spatialisation de la formation des embâcles de glace sur la rivière Mitis, soit la dynamique du cours d'eau liée au transport des sédiments, à la structure de l'écoulement ou à la morphologie de la rivière. Ces causes sont illustrées sur la Figure 6 pour les spatialiser sur le tronçon d'étude.

En commençant par la globalité du tronçon d'étude, la pente diminue en allant vers l'aval selon trois secteurs mentionnés : un secteur « plus en pente » (G04) en amont de la carte (Figure 6, amont du point 1), suivi d'un secteur avec une pente plus faible (Figure 6, point 2) et un secteur avec une pente encore plus faible (Figure 6, aval du point 3). Il a été décrit que le changement de pente influençait la formation du couvert de glace et la débâcle de la glace, puisque la pente influence la vitesse de l'écoulement. En ce sens, le secteur Figure 6 a été nommé comme un tronçon où le couvert de glace est souvent absent, étant donné que la pente y est plus élevée et que le couvert de glace a tendance à s'y défaire plus rapidement. En comparaison, le secteur en aval du point Figure 6 a été décrit comme ayant un couvert de glace plus persistent, puisque c'est un secteur où la pente et la vitesse d'écoulement sont plus faibles. De plus, il a été signalé que le secteur en amont de la carte avait une plus forte pente (Figure 6, point 1), où l'eau « s'écoule beaucoup plus rapidement » qu'en aval où « c'est beaucoup plus plat » (G04). Le secteur amont a aussi été référé comme étant un secteur qui « génère beaucoup de frasil » (G03). Les blocs de glace provenant de la débâcle en amont et le frasil qui y est produit sont transportés en aval (Figure 6, point 2) peuvent donc être arrêtés dans un secteur où la pente est plus faible et où il y a « encore pas mal de glace » (G01), tel que le secteur en aval du point 3 sur laFigure 6.

Ensuite, deux sites ont été relevés comme étant propices à la formation d'embâcle selon leur dynamique fluviale, soit les sites A et B sur la Figure 6. Le processus de formation d'embâcle y débute, accumule de la glace et « remonte » (G07) en s'allongeant vers l'amont.

Pour le site A, la présence d'un méandre dans le secteur (Figure 6, point 4) a été désignée comme pouvant favoriser la congestion de la glace. En effet, il a été nommé que l'apparition d'une plus grande sinuosité du chenal dans le secteur en lien avec la diminution de la pente augmentait la prédisposition à la formation d'embâcle. Également, les bancs d'accumulation dans le chenal à la confluence entre la rivière Paquette et la rivière Mitis (Figure 6, point 5) ont été relevés comme une cause importante de la formation d'embâcles de glace. En effet, leur présence rend le secteur propice à l'accumulation de la glace et ne facilitent pas « l'écoulement des glaces lors de la débâcle » (G06), puisqu'ils obstruent l'écoulement de l'eau. D'ailleurs, la rivière Paquette contribue à la formation des embâcles selon plusieurs personnes, puisqu'elle « alimente en glace » la rivière Mitis (G06) et qu'elle achemine des sédiments aux bancs d'accumulation de la confluence. De plus, le site a été associé à un secteur de transition entre deux types de plaines alluviales, où la plaine s'y élargit, ce qui contribue à la formation des bancs d'accumulation et donc d'embâcle de glace. Le site A est donc à la concomitance d'un changement de pente, d'une transition de plaine alluviale, d'une confluence, de l'apparition de méandres et de la présence de bancs d'accumulations. Ces facteurs de la dynamique fluviale ralentissent l'écoulement et mènent à l'accumulation de blocs de glace pouvant former un embâcle de glace.

Ensuite, le site B a aussi été désigné comme un endroit où les embâcles peuvent se former selon ses caractéristiques fluviales. D'abord, la sinuosité du secteur, dont le méandre du point 6, a été mentionnée comme pouvant favoriser le coincement de la glace. De plus, il a été souligné que la rivière y était particulièrement limitée dans sa mobilité latérale, alors que le méandre est « placé dans du roc » (R34). Au point 7, « la rivière est moins profonde » (R34), « le chenal est plus étroit » (G06) et il y a un banc d'accumulation en « plein milieu du chenal » (G06). Ces facteurs ont été désignés comme pouvant contribuer à la formation d'embâcles de glace, bien que le secteur soit en « ligne droite » (G02) (Figure 6, point 7). Le site B est alors à la jonction de plusieurs causes liées à la dynamique fluviale pouvant mener à la formation d'embâcles, soit la sinuosité du chenal, la constriction du chenal, la profondeur du chenal et la présence d'un banc d'accumulation central.

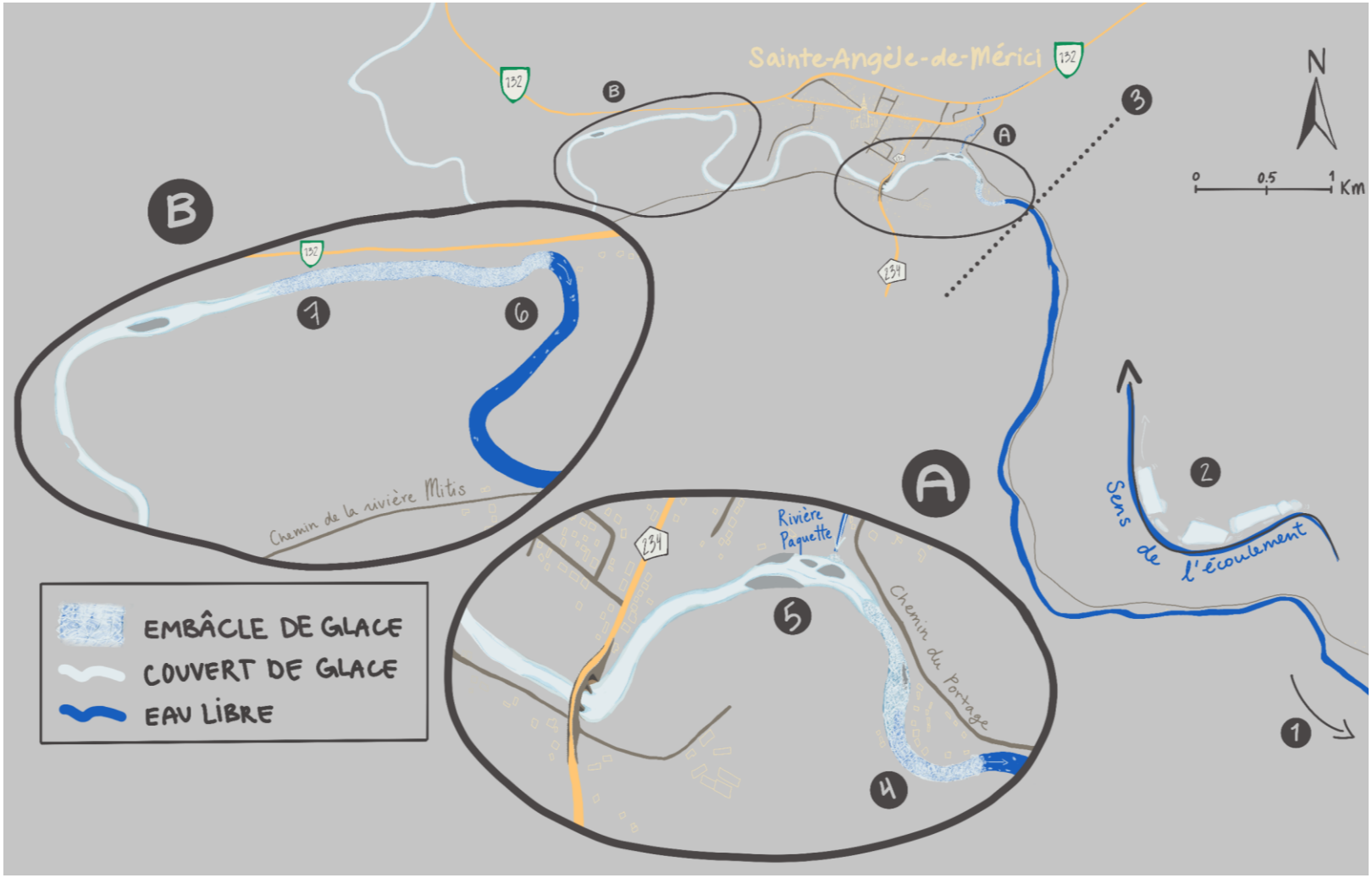


Figure 6. Spatialisation des causes liées à la dynamiques fluviale qui peuvent mener à la formation d'embâcle de glace sur la rivière Mitis, selon les informations relevées durant les entretiens avec les gestionnaires et la personne riveraine

1.6.2.2 Caractéristiques de la glace

Certaines caractéristiques de la glace ont été nommées comme pouvant mener à la formation d'embâcles de glace, soit l'épaisseur de la glace, sa solidité, la présence d'un couvert de glace en aval et la présence de frasil. D'abord, la formation d'un embâcle dépend de l'épaisseur du couvert de glace qui sera mobilisé selon certaines personnes. À ce propos, une personne gestionnaire mentionnait : « Si on a juste une faible épaisseur, la glace va briser mais elle [ne] va pas... Si elle brise en petits morceaux, il y aura moins de [chance] […] qu'elle s'arrête quelque part » (G03). Ensuite, la solidité du couvert de glace a aussi été nommée alors que sa résistance peut même varier à travers l'hiver : « Souvent au premier gel, elle [ne] gèle pas bien là, […] mais là, il y a comme un redoux, puis là elle repart, puis elle gèle comme du monde » (R34). Puis, la formation d'embâcle dépend aussi de l'état de la glace en aval et de sa résistance. Si un couvert de glace encore résistant y est présent, cela peut être suffisant pour arrêter l'arrivée de la glace transportée depuis l'amont. De plus, certaines personnes ont nommé que la formation d'embâcle de glace pouvait être « due à une accumulation de frasil » (G06), lorsque le frasil s'accumule « en dessous de la glace » (G03).

1.6.2.3 Obstacle à l'écoulement

Certaines obstructions à « l'écoulement en ligne droite » (G07) ont été nommées comme pouvant causer la formation d'embâcle tel que le bois et les ponts, sans toutefois avoir été observées à Sainte-Angèle-de-Mérici. Par exemple, une personne avait observé ailleurs des débris d'arbres qui venaient « obstruer un peu l'écoulement de l'eau » (G07), en supposant que cela pouvait contribuer à la formation d'embâcle. Le pont situé au cœur du village a aussi été mentionné comme pouvant possiblement causer une obstruction de l'écoulement, mais avec hésitation. Par exemple, une personne gestionnaire avait mentionné qu'elle ne savait pas si « le point de congestion […] était lié vraiment au pont » (G06). Cependant, le pont Marquis situé en aval de Sainte-Angèle-de-Mérici a été désigné comme étant un site où des embâcles ont tendance à se former, mais il a été spécifié qu' « il y a de la

place pour accumuler de l'eau » (R34) et que peu d'inquiétudes étaient liées à ce site par rapport aux inondations par embâcle de glace.

1.6.2.4 Autres causes

Trois autres causes ont été mentionnées pour expliquer la spatialité de la dynamique glacielle sur la rivière Mitis, soit l'orientation du bassin-versant, la modification anthropique du lit et l'anthropisation des berges. Certaines personnes ont mentionné que l'orientation du bassin versant de la rivière Mitis, du sud vers le nord, pouvait influencer la formation d'embâcle de glace. Ainsi, la partie plus au sud du bassin-versant pourrait dégeler en premier et amener la glace en aval au nord, alors que le couvert de glace y serait encore présent. Ensuite, la modification anthropique historique du lit de la rivière a été nommée comme pouvant influencer la formation d'embâcle. Par exemple, certaines personnes expliquent que « le changement de direction de la rivière » (G07) pour la route 132 (Figure 6, point 7) a rendu le secteur propice à former des embâcles de glace. Il y aurait « un lien direct » (R34) entre la formation d'embâcle et la modification du tracé de la rivière. Une autre cause anthropique a été mentionnée, soit l'anthropisation des berges. Une personne explique que l'espace riverain anthropisé fait en sorte que : « la rivière a moins de capacité à migrer, à se déplacer dans sa plaine, puis, à élargir au besoin son chenal, [ce] qui faciliterait à ce moment-là l'écoulement de la glace » (G06).

1.6.3 Temporalité de la dynamique glacielle

Certaines causes influençant la temporalité de la dynamique glacielle ont été identifiées d'après les connaissances académiques (analyse météorologique) et les connaissances locales expertes (riveraines et gestionnaires), soit la météorologie et la gestion du niveau de l'eau. La convergence et la complémentarité entre les différentes connaissances permettent de brosser un portrait plus complet de la temporalité des embâcles de glace sur la rivière Mitis.

1.6.3.1 Variables météorologiques

L'analyse météorologique se concentre sur les températures de l'air, l'épaisseur de la neige et les quantités de précipitations enregistrées durant les cinq jours précédents chaque embâcle observé (Tableau 4). Les 11 dates observées de formation d'embâcles correspondent au début (décembre-janvier) ou à la fin de l'hiver (mars). Seulement deux évènements d'embâcles ont eu lieu à la fin de l'hiver, alors que les autres embâcles se sont formés au début de l'hiver. Les embâcles de fin d'hiver sont reliés à des évènements de températures élevées, alors que les embâcles de début d'hiver ont des causes météorologiques plus variées, soit l'accumulation de frasil, la précipitation de pluie sur la neige au sol ou des températures élevées (Tableau 4).

Tableau 4. Résumé des événements d'embâcles historiques sur la rivière Mitis et des conditions météorologiques déterminantes à leur formation cinq jours précédents et la journée-même

Date de l'embâcle	Précipitations (mm)	Neige au sol (cm)	Températures (°C)	Cause probable
2004-12-29		4 ; 10	8,4 ; -13,9 ; -14,5 ; -14,5 ; -7 ; -3,2	Frasil
2007-12-10		16 ; 16	-3,4 ; -5,9 ; -4,9 ; -1,1 ; -10,8 ; -6,1	Frasil
2008-01-10	0,0 ; 0,0 ; 1,4 ; 7,4 ; 7,0 ; 1,2	19 ; 3	-1,7 ; 2,2 ; 6,8 ; 4 ; 6,9 ; 2,1	Pluie sur neige
2008-12-29	1,2 ; 0,0 ; 0,0 ; 3,8 ; 9,4 ; 0,0	12 ; 4	-2,8 ; -1,6 ; -14,1 ; -2,1 ; 9 ; 2,6	Pluie sur neige
2011-01-23		21 ; 38	-4,5 ; -5,1 ; -11,7 ; -9,9 ; -12,5 ; -17	Frasil
2014-04-14	0,0 ; 0,0 ; 0,8 ; 0,0 ; 0,2 ; 1,0	27 ; 14	3,6 ; 10,3 ; 10,7 ; 10,3 ; 2,7 ; 13,5	Températures élevées
2014-04-15	0,0 ; 0,8 ; 0,0 ; 0,2 ; 1,0 ; 6,0	25 ; 7	10,3 ; 10,7 ; 10,3 ; 2,7 ; 13,5 ; 16,3	Températures élevées
2022-12-30		3 ; 11	-6 ; -6,8 ; -8,9 ; -6,4 ; -1,9 ; 7,7	Températures élevées
2023-01-01		10 ; 2	-8,9 ; -6,4 ; -1,9 ; 7,7 ; 6,6 ; 1,8	Températures élevées
2023-01-12		5 ; 6	-2,1 ; -5,1 ; -4,6 ; -6,7 ; -10,5 ; -6,0	Frasil
2024-12-10		0 ; 5	0,1 ; -0,7 ; -7,1 ; -4,8 ; -5,1 ; -1,3	Frasil

Toutes ces conditions météorologiques convergent avec les éléments nommés par les personnes participantes durant les entretiens. En effet, plusieurs causes météorologiques ont été associées à la formation d'embâcle de glace sur la rivière Mitis, soit les épisodes de redoux, les précipitations liquides et solides, les conditions des jours précédents, les périodes de grands froids, un changement rapide de conditions météorologiques et la période de formation d'embâcle.

La venue de « températures plus chaudes » (G04) est une cause météorologique souvent nommée comme pouvant causer le bris du couvert de glace et mener à la formation d'embâcle de glace. Les précipitations liquides sont également désignées comme étant une cause importante des embâcles, d'ailleurs souvent nommées de pair avec les épisodes de redoux. L'apport en ruissellement doit donc être « significatif, généralement pas que des températures douces, ça vient souvent aussi avec de la pluie » (G03). La présence de neige dans le bassin-versant peut aussi influencer l'apport en eau dans la rivière par ruissellement durant le redoux. Cet apport peut être calculé selon une personne gestionnaire : « En mesurant l'équivalent en eau dans la neige […] on peut prédire aussi […] quelles vont être les conséquences plus tard avec un épisode de redoux » (G06). Ces éléments convergent avec les connaissances académiques, alors que des causes liées au ruissellement sont aussi relevées dans l'analyse météorologique, soit des évènements de pluies sur neige et de températures élevées.

Les conditions météorologiques des jours précédents ont également été nommées comme pouvant influencer la débâcle : « ça dépend aussi […] si les jours précédents on a, déjà eu […] soit des précipitations liquides ou de la fonte qui fait [que] le sol est saturé, […]si le sol est déjà saturé dans le bassin versant en amont » (G06). Si les personnes n'ont pas apporté de précisions quant aux nombres de jours précédents pouvant influencer la formation d'embâcle de glace, l'analyse météorologique sur les cinq jours précédant la formation d'embâcle de glace a effectivement permis d'identifier que les précipitations des deux à trois jours précédant et les températures élevées des un à cinq jours précédant peuvent mener à la formation d'embâcles de glace (Tableau 4).

Pour plusieurs personnes, une période de grand froid peut causer la formation d'embâcle. Les périodes de grand froid sont aussi associées à la production de frasil et son accumulation « vers Sainte-Angèle-de-Mérici » (G06). Une autre personne rajoute que « quand il y a un gros froid intense, le frasil, il prend dedans » (G02) et peut contribuer à l'amoncellement de glace de l'embâcle. Les températures qualifiant ces périodes froides n'ont pas été identifiées par les personnes locales expertes, mais l'analyse météorologique permet de compléter ces informations avec des températures négatives allant de -0,7 à -14,5°C dans les cinq jours précédents la formation d'embâcle de glace (Tableau 4).

De plus, une période de redoux suivie rapidement par une période de grand froid peut être associée aux embâcles. Une personne gestionnaire décrit cette combinaison : « [C'est] un peu étrange parce que là tu vas avoir une débâcle partielle, puis quelques jours après il fait moins 30. Donc là tout fige [de façon] bizarre, donc ça peut compliquer après ça la débâcle au printemps » (G02). Des « cycles de gel/dégel rapides » (G07) intercalés ont aussi été rapporté comme pouvant causer la formation d'embâcle sur la rivière. Ces informations complètent l'analyse météorologique, alors que des températures supérieures à 0°C ont été observées cinq jours avant la formation d'embâcle lié au frasil en 2004 et en 2024 (liée à des températures froides), mais que l'analyse ne permettait pas d'identifier la longueur temporelle de ce redoux et son importance dans la formation de l'embâcle (Tableau 4).

D'ailleurs, la rapidité du changement des conditions météorologiques a été nommé comme un facteur important dans la formation d'embâcle. Par exemple, une personne gestionnaire expliquait que le changement météorologique doit être « plus soudain que, par exemple, un printemps qui s'installe tranquillement » (G03), en expliquant qu'un réchauffement progressif des températures amènerait le couvert de glace à fondre sur place. En revanche, si le changement est soudain, le ruissellement de l'eau sera plus important et il y aura « plus de risque d'avoir une débâcle mécanique » (G03) du couvert de glace, qui va davantage mener à la formation d'embâcle de glace plus loin en aval. L'analyse météorologique complète ces connaissances en pouvant identifier des températures qui qualifient ce changement rapide. En effet, une augmentation de seulement 5,8°C en une

journée est liée à la formation d'embâcle de glace en décembre 2022 et en janvier 2023, alors qu'une augmentation de 12°C est liée à la formation d'embâcle de glace en décembre 2008 (Tableau 4).

De plus, une « grosse différence » (R34) a été soulignée entre les conditions météorologiques causant les embâcles survenant durant l'hiver et ceux qui se produisent durant la fin de la période hivernale et au commencement du printemps. Les embâcles de printemps ont été décrits comme des embâcles qui ne restent pas longtemps en place, contrairement aux embâcles d'hiver, qui ont un risque de geler sur place s'il n'y a pas d'épisode de redoux suffisant. Ces informations complètent les connaissances académiques, car ni les cicatrices glacielles relevées ni l'analyse météorologique ne permettent d'identifier la durée de ces évènements et aucune information sur la durée des évènements d'embâcle est systématiquement notée dans la base de données des embâcles historiques du MSI.

Finalement, des changements dans la période de formation d'embâcle ont été observés à travers le temps : « Ça arrive de plus en plus souvent, […] de la pluie au mois de décembre » (G02). Cette même personne a remarqué que « les dernières années, c'est presque tout le temps avant Noël ou pendant les fêtes » (G02) que les embâcles se forment. Il a tout de même été spécifié que la surveillance de la formation des embâcles se fait tout le temps et qu'il faut être aux aguets durant tout l'hiver pour la sécurité des citoyennes et citoyens. Ces connaissances complètent les connaissances académiques, alors que le plus ancien évènement d'embâcle rapporté par la base de données du MSI date de 2004 (Tableau 4), ce qui ne permet pas à l'analyse météorologique d'identifier une tendance significative dans la temporalité de formation d'embâcles de glace sur la rivière Mitis.

1.6.3.2 Gestion du niveau de l'eau

La gestion des barrages hydroélectriques des lac Mitis et Mistigougèche a été nommée par quelques personnes comme pouvant influencer la formation d'embâcle de glace sur la rivière Mitis, par la modification du niveau de l'eau : « Si le niveau est trop bas, ça va faire

une bonne couche de glace. Puis là ce qui arrive c'est quand le niveau va augmenter […] c'est là que ça fait des embâcles » (R34).

En contrepartie, « un bon niveau d'eau à l'automne, va aider à ce que ça coule mieux » (R34) et qu'il n'y ait pas de formation d'embâcle. Il a aussi été souligné qu'une relâchée subite d'eau en provenance des barrages pourrait également aggraver la situation dans le cas où un embâcle est déjà présent en aval.

Ces informations complètent les connaissances académiques utilisées, alors que l'analyse météorologiques et les cicatrices glacielles ne renseignent pas sur le niveau de l'eau durant la formation du couvert de glace ou durant la formation d'embâcle de glace.

1.6.4 Les embâcles sur la rivière Mitis : un phénomène multi causal

D'après les connaissances locales expertes, les embâcles de glace de la rivière Mitis se forment selon une combinaison de facteurs. En effet, de nombreuses personnes participantes ont mentionné durant la portion de l'entretien sur la cartographie et les connaissances générales des embâcles de glace que les embâcles de glace se formaient sur la rivière Mitis par la combinaison de plusieurs causes. Ainsi, la formation d'un embâcle pourrait se faire « selon plein de facteurs […] combinés ensembles » (G07) qui peuvent générer le blocage de la glace. Une personne a même signifié ne pas pouvoir isoler un élément, en mentionnant : « Il y a trop de facteurs là, je [ne] peux pas dire c'est ça, c'est ça ! » et en rajoutant que « c'est un ensemble de facteurs » (R34).

En décrivant les causes de formation d'embâcle de glace, certains liens étaient faits entre les types de causes par plusieurs personnes participantes pour expliquer la formation d'un embâcle de glace ou la formation d'embâcle de glace en général sur la rivière. Chaque cause a été liée à une autre cause par au moins une personne participante, mis à part la cause de l'obstacle à l'écoulement, qui n'a pas été lié à d'autres causes pour quelques personnes. La Figure 7 illustre ces liens, alors que son objectif n'est pas d'identifier les causes qui sont nommées par le plus de personnes, mais de voir quelles sont les causes qui ensemble

expliquent la formation d'embâcle de glace sur la rivière Mitis. La figure illustre trois éléments, soit la position des causes, les types de liens (selon le type de trait) et les personnes qui ont réalisé ces liens entre les causes (selon la couleur). Un trait correspond à un lien établi entre plusieurs causes par une personne. Plus une cause est espacée, moins de liens la relient aux autres causes. À l'inverse, plus une cause est reliée à une diversité de causes, plus elle sera positionnée au centre.

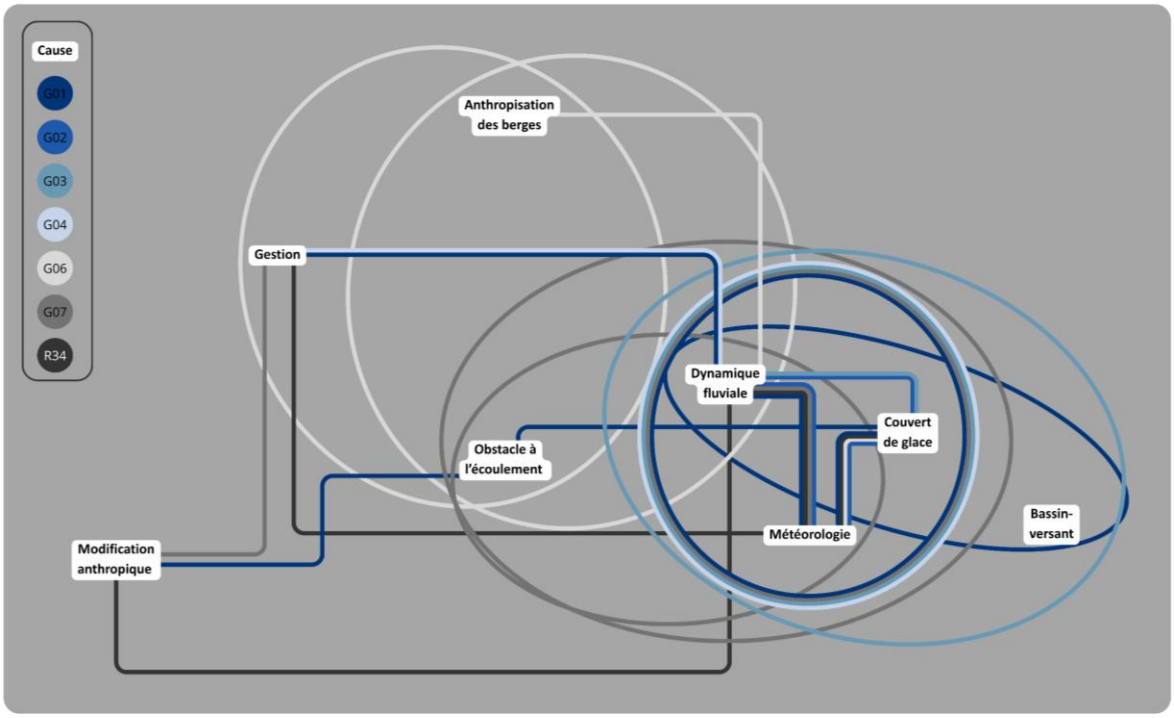


Figure 7. Liens entre les causes de formation d'embâcles selon les personnes participantes et leur couleur respective. Les liens illustrés par des lignes représentent des liens faits entre deux causes seulement, alors que les liens illustrés par des cercles représentent des liens faits entre trois causes ou plus

D'après cette figure, deux groupes de causes se distinguent : les causes naturelles (dynamique fluviale, météorologie, couvert de glace et bassin-versant) et anthropiques (obstacle à l'écoulement, gestion, anthropisation des berges et modification anthropique). Les liens convergent principalement entre trois causes naturelles, soit les conditions météorologiques, la dynamique fluviale et le couvert de glace. En effet, ces trois causes sont davantage liées entre elles et constituent les causes qui détiennent une plus grande diversité

de liens. La dynamique fluviale est la cause la plus centrale, en étant celle qui est la plus liée aux autres causes. En comparaison, la gestion du niveau de l'eau et l'obstacle à l'écoulement ont des liens diversifiés, mais moins nombreux. De plus, l'orientation du bassin-versant, la modification du lit de la rivière et l'anthropisation des berges sont moins liées aux autres causes et sont situées aux extrémités de la figure.

1.7 DISCUSSION

L'approche de l'intégration des connaissances a d'abord consisté à recueillir les connaissances provenant du milieu académique, de gestionnaires et de personnes riveraines par rapport à la complexité des embâcles de glace sur la rivière Mitis. Ensuite, l'intégration de ces connaissances a mis en relief les complémentarités et les convergences de ces connaissances pour mieux interpréter et cerner les processus fluvio-glaciels liés aux embâcles de glace sur cette rivière, dans leur spatialité et leur temporalité. Des travaux antérieurs sur l'évolution du couvert glaciel et la dynamique glacielle du frasil, de barrages suspendus (Allard, 2010 ; Allard *et al.*, 2011 ; Bérubé, 2014), des sites de formation d'embâcle (Croquer Perez *et al.*, 2026) et d'inondation par embâcle de glace (Besnard, 2016) sur la rivière Mitis sont aussi ici utilisés pour alimenter les connaissances locales académiques et l'intégration des connaissances dans la compréhension du processus de formation d'embâcle de glace. Afin de mieux comprendre la complexité et l'unicité des embâcles de glace de la rivière Mitis, l'intégration des connaissances révèle les spécificités de la dynamique glacielle de la rivière Mitis, tout en respectant les systèmes de connaissances de chaque connaissance utilisée pour éviter la hiérarchisation de la production des savoirs.

1.7.1 Spatialisation de la dynamique glacielle

1.7.1.1 Connaissances locales expertes et académiques

Selon les connaissances relevées des personnes participantes durant les entretiens, la dynamique glacielle diffère à travers le tronçon à l'étude de la rivière Mitis, en fonction de zones générales de production, de transport et d'accumulation de la glace ou du frasil. Cette

catégorisation concorde avec la caractérisation d'Allard *et al.* (2011) sur la rivière Mitis, qui nommait respectivement ces zones section de seuil-mouille (pente de 0,427%), section de transition fluviale (pente de 0,226%) et section à méandres (pente de 0,067%). Bérubé (2014) avait également utilisé les délimitations de cette transition fluviale pour expliquer les dynamiques de barrages suspendus sur la rivière (Figure 8).

D'abord, la zone en amont du tronçon d'étude est un secteur de production de glace et de frasil, puisqu'il a été soulevé à mainte reprises durant les entretiens comme étant celui le plus en pente, où la débâcle y défait le couvert de glace en premier et où il y a une forte production de frasil. L'étude d'Allard *et al.* (2011) avait identifié dans cette zone plusieurs tronçons de production de frasil et de formation de glace d'ancrage sur certains seuils selon des observations sur le terrain de novembre 2007 à février 2008 (Figure 8). De plus, un de ces tronçon n'avait jamais formé de couvert de glace durant cette période, produisant ainsi du frasil durant tout l'hiver. Bérubé (2014) avait aussi rapporté une forte production de frasil dans ce secteur. Toutefois, l'échantillonnage des cicatrices glacielles n'a pas été réalisé dans cette zone, donc elles ne peuvent pas compléter (peu ou pas de cicatrices présentes), nuancer (présence de plusieurs cicatrices) ou contredire (présence de nombreuses de cicatrices) cette information par rapport à la production de blocs de glace. Aussi, les délimitations de la carte utilisée durant des entretiens débutaient en aval de ce secteur (Figure 4), ce qui a pu limiter les personnes participantes à décrire la dynamique glacielle à cet endroit. Il se peut également que les personnes participantes connaissent moins bien ce secteur ou que les personnes qui le connaissent n'aient pas participé aux entretiens.

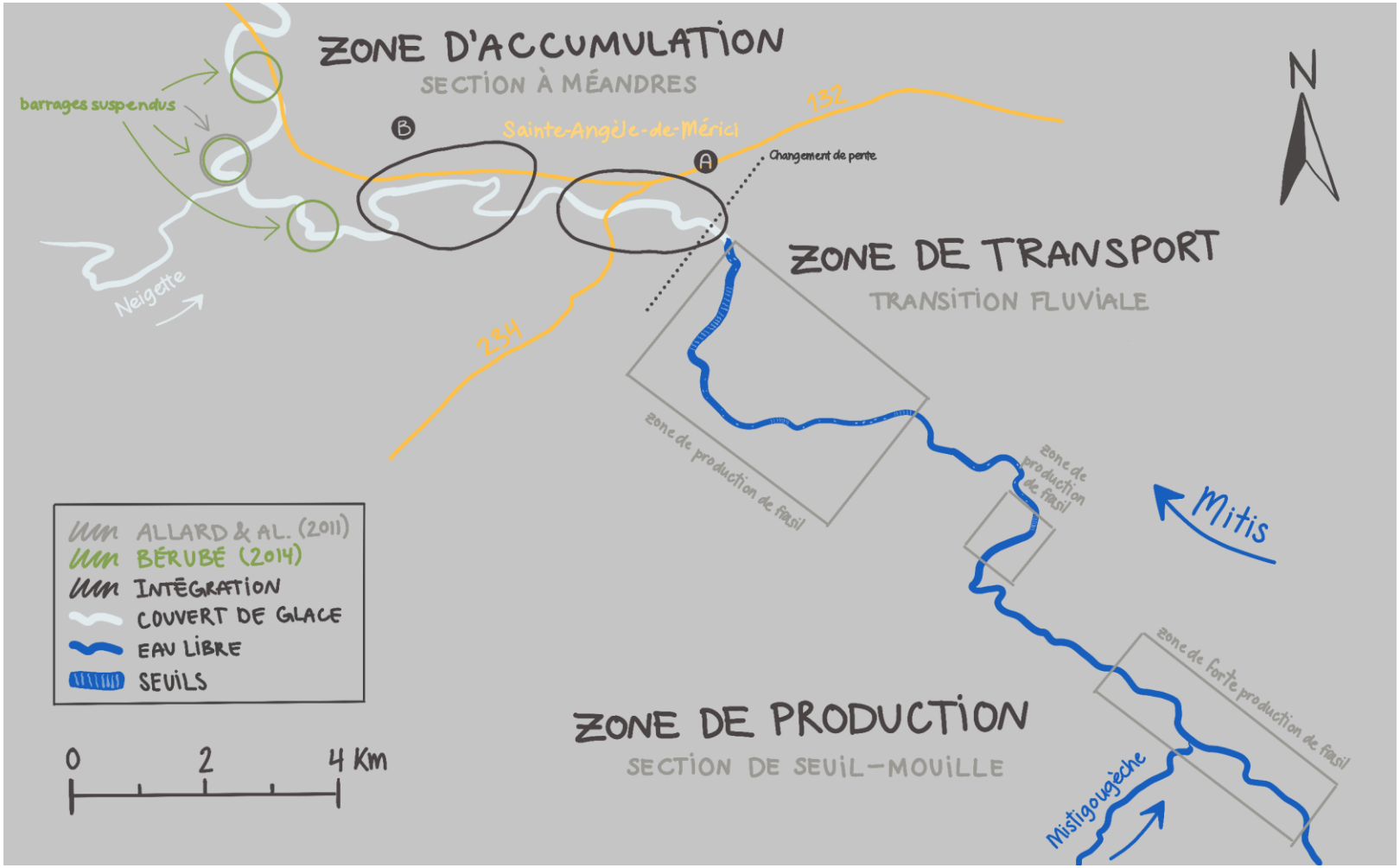


Figure 8. Spatialisation de la dynamique glacielle sur la rivière Mitis selon les connaissances issues de l'intégration des connaissances locales expertes et académiques et des travaux antérieurs de Allard *et al.* (2011) et Bérubé (2014)

Ensuite, une zone de transport de glace et de frasil est délimitée à la Figure 8 (correspondant au tronçon entre les secteurs I et III de la Figure 5). Un embâcle de glace qui se formerait dans le secteur IV pourrait toutefois permettre l'accumulation de glace vers l'amont et la zone de transport, si le volume de glace est assez important. Plusieurs cicatrices glacielles sont présentes dans la zone de transport, mais moins d'embâcles y ont été délimités par les personnes participantes. Selon les causes de formation d'embâcle liées à la dynamique fluviale nommées durant les entretiens, ce secteur est situé en amont d'un changement de pente (Figure 6, point 3) et le couvert de glace a tendance à s'y défaire plus rapidement, étant donné que la pente y est plus élevée (Figure 6, point 2). Allard *et al*. (2011) avait observé un couvert de glace qui se forme de l'aval de cette zone de transition fluviale vers l'amont (Figure 8). Un tronçon de production de frasil y a aussi été observé périodiquement durant l'hiver. Cette zone pourrait donc périodiquement produire du frasil et le transporter jusqu'en aval où la pente est plus faible (Allard *et al.*, 2011). Également, les blocs de glace provenant de la débâcle plus hâtive en amont ou d'un relâchement d'embâcle en amont pourraient être transportés dans cette zone. Aucune étude dendrochronologique sur les cicatrices glacielles ne fait la différence entre les cicatrices formées par l'embâcle de glace et celles formées par son relâchement et le train de glace qu'il entraîne (Lubiniecki *et al.*, 2024). En ce sens, les cicatrices ne peuvent normalement témoigner que d'une dynamique glacielle, à l'exception du frasil. Toutefois, une fois intégrées avec les connaissances locales expertes, les cicatrices présentes dans la zone de transport pourraient témoigner de ces trains de glace.

La troisième zone qui correspond au secteur d'accumulation de glace et de frasil prend forme en aval du changement de pente représenté sur la Figure 8 (également illustré au point 3 de la Figure 6). En effet, cette zone est caractérisée par les secteurs IV et V de la Figure 5, qui sont des secteurs où des embâcles de glace se forment selon les personnes participantes et d'après la densité des cicatrices glacielles. Toutefois, il y a moins de cicatrices qui ont été repérées dans le secteur IV. Cela peut être attribué au fait que les berges n'ont pas beaucoup de végétation riveraine et que la présence de cicatrice glacielle dépend de la présence d'arbre ou d'arbuste sur le terrain (Lemay et Bégin, 2008). Bérubé (2014) avait fait des observations similaires concernant le régime du frasil le long de la transition fluviale, en décrivant que le

couvert de glace se formait d'abord en aval de la transition fluviale alors qu'en amont, une production significative de frasil avait encore lieu. Cette dynamique fluvio-glacielle contribue alors à l'accumulation de frasil en aval de la transition fluviale et la formation de barrages suspendus durant l'hiver (Figure 8). Selon les données de température de novembre 2007 à mars 2008 sur la rivière Mitis d'Allard *et al*. (2011), la section en aval de la confluence avec la rivière Neigette avait des températures de l'eau qui étaient en dessous de 1 °C sept jours plus tôt que le secteur en amont (à la confluence Mitis-Mistigougèche) et des températures de l'eau qui était au-dessus de 1 °C 26 jours plus tard qu'en amont. Ainsi, cette zone aura des température plus froides quelques jours avant la zone de production en amont, mais elle va avoir des températures plus chaudes près d'un mois plus tard que la zone en amont. Cette différence de température contribue à garder le couvert de glace en place plus longtemps en aval, ce qui peut arrêter la glace qui provient de l'amont qui connaît une débâcle plus hâtive. Au sein de la zone d'accumulation, les sites A et B des figures Figure 6 etFigure 8 sont particulièrement prédisposés à l'accumulation de glace et de frasil selon les personnes participantes. En effet, le site A est à la concomitance d'un changement de pente et de largeur de la plaine alluviale, d'une confluence, de l'apparition de méandres, de la présence de bancs d'accumulations. Quant à lui, le site B est à la jonction de plusieurs causes liées à la dynamique fluviale pouvant amener à la formation d'embâcle, soit la sinuosité du chenal, la constriction du chenal, le peu de profondeur du chenal et la présence d'un banc d'accumulation central. D'ailleurs, ces sites concordent avec les sites potentiels de formation d'embâcles déterminés avec l'analyse morphologique de l'outil OSAR-Glace (Outil Systématisé d'Analyse des Risques pour Embâcles de Glace) réalisée par Croquer Perez *et al.* (2026). Cette analyse s'appuie sur des paramètres morphologiques semblables à ceux nommés durant les entretiens comme pouvant engendrer le coincement du train de glace et la formation d'un embâcle, soit la rupture de pente, le rétrécissement du chenal, la sinuosité du chenal et le changement de profondeur du chenal (Croquer Perez *et al.*, 2026). Des inondations par embâcle de glace ont aussi été rapportées par Besnard (2016) dans le secteur d'accumulation, malgré que les positions exactes des embâcles qui les avaient causées n'aient pas été répertoriées.

Il faut toutefois spécifier que la zone de production de glace et de frasil sur la rivière Mitis n'est pas nécessairement exempte de site de formation d'embâcles de glace, alors que cette catégorisation est limitée par le secteur à l'étude. En effet, l'échantillonnage des cicatrices glacielle n'a pas été effectué partout sur la rivière et la carte utilisée lors des entretiens ne recouvre pas l'ensemble de la rivière Mitis. Il demeure possible que des embâcles surviennent en amont ou en aval du secteur à l'étude.

1.7.1.2 Connaissances généralisées académiques

La spatialisation de la dynamique glacielle identifiée par les connaissances locales expertes et académiques converge avec les connaissances généralisées académiques, alors que des zones de production, de transport et d'accumulation ont également été observées sur d'autres rivières et que la littérature confirme que la morphologie de la rivière et la présence de frasil peuvent influencer la formation d'embâcle de glace.

En effet, cette spatialisation de la dynamique glacielle a été attribuée à un tronçon de la rivière Saint-François (Québec, Canada) entre le 24 et le 28 janvier 2019 par Plante Lévesque *et al.*, (2024) dans le cadre de l'étude des processus fluvio-glaciels menants à la formation d'embâcle de glace. Toutefois, l'étude ne prend pas en compte le frasil dans cette segmentation : les zones de transport sont attribuées aux zones libres de couvert de glace, malgré qu'elles puissent permettre la production de frasil. Sur la rivière Acadie (Québec, Canada), Plante Lévesque *et al.* (2019) ont observé une dynamique glacielle variable de l'amont vers l'aval en fonction de la géomorphologie des berges et de la présence de cicatrices glacielles. Dans un tronçon en amont, il a été identifié que lors de la dislocation mécanique du couvert, en l'absence d'une morphologie prédisposée à former des embâcles, les glaces sont transportées en aval sous forme de train de glace érodant les berges, mais sans former d'embâcle majeur. En aval, un tronçon a été identifié comme étant prédisposé à former des embâcles, alors que davantage de traces d'embâcles de glace y ont été relevées. L'étude révèle ainsi que la glace disloquée provenant du secteur en amont rencontre peu

d’obstacle en descendant la rivière et s’accumule dans ce secteur où il y a plusieurs entraves à l’évacuation, soit les méandres, la rupture de pente et les ponts.

Quant aux caractéristiques morphologiques, cette spatialisation de la formation des embâcles sur la rivière Mitis correspond à celle décrite par Bergeron *et al.* (2011) sur un lien sédimentaire, alors que le changement de pente et de compétence de l'écoulement y sont aussi associés à une débâcle en amont qui mène à une accumulation de glace en aval. De plus, les éléments mentionnés durant les entretiens sont tous reconnus pour prédisposer des secteurs à accumuler la glace (constriction du chenal, sinuosité, rétrécissement du chenal, profondeur du chenal, confluence et changement de pente) (De Munck *et al.*, 2017 ; Ghobrial *et al.*, 2023) et le frasil (changement de pente) (Opfergelt *et al.*, 2024). Toutefois, le pont de la route 234 ne semble pas avoir une grande influence sur la formation d’embâcle d’après les personnes participantes, alors que les piliers de ponts provoquent normalement une constriction du chenal qui peut mener à la formation d’embâcle de glace (De Munck *et al.*, 2017). Dans le cas de la rivière Mitis, les embâcles de glace commencent leur formation plutôt en amont (site A) ou en aval (site B). Concernant le frasil et la spatialisation de sa dynamique glacielle, les tronçons de rivières plus escarpés situés en amont d'un lien sédimentaire (Bergeron *et al.*, 2011) ou d'une transition fluviale (Bérubé, 2014) avec un écoulement plus turbulent en lien avec la présence de seuils peuvent rester libre de glace durant une bonne partie ou tout l'hiver et produire du frasil (Beltaos, 2013a, 2021 ; Sui *et al*., 2002). Si les conditions météorologiques et du couvert de glace le permettent, du frasil peut donc être produit dans ces zones et être transporté jusqu’à un tronçon de rivière à faible pente (Opfergelt *et al.,* 2024).

Ainsi, la spatialisation de la dynamique glacielle de la rivière Mitis est caractérisée par trois zones de production, transport et accumulation de la glace identifiées par les connaissances locales expertes et académiques. Si cette spatialisation converge avec les connaissances généralisées et les travaux sur les rivières Saint-François et Acadie, les connaissances locales ont permis d’identifier des caractéristiques spécifiques à la dynamique

glacielle de la rivière Mitis, soit les sites de formation d'embâcle A et B (respectivement en amont et en aval d'un pont) et la production de frasil et sa contribution aux embâcles de glace.

1.7.2 Formation des embâcles de glace sur la rivière Mitis

1.7.2.1 Connaissances locales expertes et académiques

D'après les entretiens auprès des gestionnaires et de la personne riveraine, les causes naturelles sont centrales à la formation d'embâcles de glace, surtout la dynamique glacielle, les caractéristiques du couvert de glace et les conditions météorologiques. De plus, l'analyse des liens que ces personnes font entre les différentes causes illustre que la formation d'embâcles de glace sur la rivière Mitis est très complexe et dépend de plusieurs variables. D'ailleurs, au sein de chaque catégorie de cause, une variabilité est dénotée parmi les réponses des personnes participantes.

À travers ces causes naturelles de formation, la dynamique fluviale de la rivière Mitis détermine les secteurs de prédisposition à la formation d'embâcles de glace. En effet, c'est la dynamique fluviale qui explique la spatialisation de la dynamique glacielle sur la rivière et qui délimite le secteur d'accumulation de glace dans le tronçon d'étude. L'orientation du bassin-versant est aussi une cause qui va influencer la dynamique glacielle, mais elle s'est révélée comme une cause explicative moins centrale (Figure 7). Ensuite, les caractéristiques du couvert de glace, soit l'épaisseur de la glace, sa solidité, la présence d'un couvert de glace en aval et la présence de frasil vont être des variables déterminantes à la magnitude d'un embâcle qui se forme. D'ailleurs, les caractéristiques de la glace sont directement liées à la dynamique fluviale et les conditions météorologiques qui mènent à sa formation (Figure 7). Plusieurs causes météorologiques ont été associées à la formation d'embâcle de glace sur la rivière Mitis, soit les épisodes de redoux, les précipitations liquides et solides, les conditions des jours précédents, les périodes de grands froids, un changement rapide de conditions météorologiques et la période de formation d'embâcle. Ces informations convergent avec ou complètent l'analyse des conditions météorologiques précédant les embâcles observés par le

MSI de 2004 à 2024. En effet, les causes associées à ces évènements étaient l'accumulation de frasil, la précipitation de pluie sur la neige au sol ou des températures élevées (Tableau 4).

En contrepartie, les causes de formation anthropiques, soit l'obstacle à l'écoulement, la gestion du niveau de l'eau, l'anthropisation des berges et la modification anthropique du lit de la rivière sont des causes secondaires à la formation d'embâcles de glace. En effet, ces causes étaient à la fois moins mentionnées durant les entretiens, mais sont aussi celles qui ont le moins de liens avec des causes différentes d'elles-mêmes (Figure 7).

1.7.2.2 Connaissances généralisées académiques

Certaines connaissances généralisées académiques convergent avec les éléments identifiés par les connaissances locales expertes et académiques en lien avec les caractéristiques de la glace, le ruissellement, la période de l'hiver, les conditions météorologiques et les caractéristiques du bassin-versant.

Par exemple, il est reconnu que la débâcle dépend de la résistance de la glace (épaisseur et force mécanique) (Beltaos, 2023) et de l'intensité du ruissellement (influencé par le taux d'infiltration du sol, le couvert de neige et la pente du bassin-versant) (Beltaos, 2008b ; Burrell *et al.*, 2022). De plus, si le volume de glace est un facteur important concernant la magnitude d'un embâcle (Lindenschmidt *et al*., 2018), ce volume disponible peut être variable en fonction du moment de la débâcle et des caractéristiques de la glace. Sur la rivière Susitna, en Alaska, l'application de la modélisation hydraulique unidimensionnel *River1D* par Blackburn et She (2019) a permis de simuler avec succès la formation du couvert de glace (glace d'ancrage et glace de rive) et sa progression (taux de progression du couvert de glace, transport de frasil sous le couvert de glace, largeur et épaisseur du couvert de glace, etc.) dans une rivière avec une dynamique glacielle complexe et comprenant aussi une dynamique de frasil. Une étude similaire du régime glaciel pourrait être réalisée sur la rivière Mitis pour mieux anticiper l'épaisseur et la force mécanique du couvert de glace, ainsi que le volume de glace et de frasil disponible pour la formation d'embâcles de glace.

Ensuite, la période de l'hiver peut être un contexte déterminant du type d'embâcle qui va être formé et de sa magnitude, alors que les embâcles de surface, la glace de fond, les barrages suspendus et les embâcles étroits sont typiques des conditions de début d'hiver et de gel (Madaeni *et al.*, 2020). En contrepartie, les embâcles de type large se produisent à la fois lors du gel et de la débâcle, et ce sont les types les plus critiques lors de la débâcle (Madaeni *et al.*, 2020).

Si les embâcles de glace se forment généralement à la suite d'un redoux et de précipitations de pluies (Beltaos, 2002) qui augmentent le ruissellement, une des particularités de la rivière Mitis est la grande production de frasil et son influence sur les embâcles de glace qui s'y forment. Dans cette optique, des périodes de grands froids peuvent être associés à la formation d'embâcles sur la rivière Mitis, étant donné que des tronçons de production de frasil sont présents en amont (Allard *et al*., 2011) lorsqu'ils sont libres de glace et que les températures de l'air et de l'eau permettent la production de frasil (Daly, 2013). De plus, une période de froid et de redoux par intermittence peut entraîner la formation d'une couche de glace sur le couvert neigeux et accélérer le ruissellement de l'eau (et donc la montée du niveau de l'eau) en cas de nouvelles précipitations de pluie (Burrell *et al.*, 2022).

Alors qu'une différence de hausse des températures à travers le bassin versants peut y influencer la magnitude de la débâcle (Beltaos et Prowse, 2009), une différence de température a effectivement été observé sur la rivière Mitis par Allard *et al*. (2011), avec des températures généralement plus froides en aval qu'en amont, ce qui mène à une débâcle plus hâtive en amont qu'en aval (Beltaos & Prowse, 2009). Ensuite, la présence d'un couvert de glace encore résistant en aval peut mener à la congestion de glace provenant de la débâcle en amont (Lindenschmidt & Das, 2015).

Ainsi, les connaissances locales expertes et académiques convergent avec la littérature et son système de connaissances académiques généralisées sur les embâcles de glace. Cependant, ces connaissances généralisées ne permettent pas d'identifier les éléments centraux de la dynamique glacielle singulière à la rivière Mitis, contrairement aux connaissances locales expertes et académiques.

1.7.3 Valorisation des connaissances locales expertes

L'utilisation de l'intégration des connaissances comme approche demande d'identifier les systèmes de connaissances au début du processus intégratif (Raymond *et al.*, 2010). Avec l'objectif de mieux comprendre la complexité de l'aléa des embâcles de glace et sa spécificité sur la rivière Mitis, la méthode nécessitait d'utiliser des connaissances expertes. En ce sens, la méthode a ciblé dès le départ les personnes riveraines et les gestionnaires ayant un système de connaissances expertes, par l'entremise du questionnaire et de son analyse. La complémentarité des connaissances locales expertes et des connaissances académiques dans les résultats sur la spatialité de la dynamique glacielle et les causes de formation d'embâcles de glace maintient l'utilité de cibler les personnes avec un système de connaissances locales expertes.

Au sein des systèmes de connaissances locales expertes sur les embâcles de glace de la rivière Mitis, ce qui influence le système de connaissances des personnes ayant participé aux entretiens est le nombre d'observations (locales ou généralisées) et le temps d'expérience. Que leur expérience soit professionnelle, personnelle ou académique ne semble pas influencer leurs connaissances. En effet, les personnes qui avaient fait beaucoup d'observations sur la rivière Mitis sur une longue période nommaient une plus grande diversité de secteurs d'embâcle et expliquaient la formation des embâcles selon leurs observations localement sur la rivière Mitis. Les personnes qui avaient fait beaucoup d'observations sur la rivière Mitis mais depuis moins longtemps nommaient moins de secteurs de formation d'embâcle. Puis, les personnes qui avaient beaucoup d'observations généralisées sur plusieurs rivières connaissaient moins de secteurs, mais nommaient plusieurs causes de formation d'embâcles, ce qui rejoignait et complétait celles nommées par les autres personnes. Cette distinction entre les connaissances localement spécifiques et généralisées à travers plusieurs régions concorde avec les systèmes de connaissances « locales » et « généralisées » identifiés par Raymond et al. (2010). De plus, les personnes expertes ont typiquement plusieurs années d'expérience (Raymond *et al.*, 2010), le temps d'expérience et le nombre d'observations peut donc influencer le niveau d'expertise. L'intérêt

de la méthode est donc de cibler les personnes avec un système de connaissances expertes qu'elles soient locales ou généralisée, étant donné que l'expertise locale et généralisée des personnes rencontrées était complémentaire, ce qui a permis de mieux comprendre la complexité et l'unicité des embâcles de glace de la rivière Mitis.

Si la méthode nécessite de cibler les personnes ayant un système de connaissances locales expertes, la présence de ces connaissances dépend en partie du niveau de leur familiarité des embâcles de glace. La connaissance de l'aléa, ou du phénomène naturel menant à l'aléa d'inondation dans notre cas, est directement liée à l'expérience et la familiarité du phénomène naturel (Athimon *et al.*, 2016 ; Bullen et Miles, 2024 ; Elineau *et al.*, 2020 ; Hadlos *et al.*, 2022), ce qui résonne avec les systèmes de connaissances des personnes participantes. La familiarité des embâcles de glace peut dépendre de la fréquence d'occurrence des embâcles, puisqu'elle renforce la mémoire attachée à l'expérience (Athimon *et al.*, 2016 ; Hadlos *et al.*, 2022). Si la fréquence du phénomène naturel est faible, un manque de transfert de connaissances reliées peut affecter cette familiarité à travers le temps (Pagneux *et al.*, 2011 ; Viglione *et al.*, 2014) et mener progressivement à une perte de mémoire du phénomène naturel (Pagneux *et al.*, 2011 ; Vojinovic *et al.*, 2016). Dans un tel cas, les connaissances locales expertes seraient difficiles à mobiliser pour le processus intégratif, ce qui pourrait limiter la transférabilité de la méthode sur une autre rivière.

Le processus intégratif réalisé a permis d'éviter de hiérarchiser les connaissances, tout en respectant le système de connaissances qui leur sont propre (Tengö *et al.*, 2014). Dans la compréhension d'un aléa, la valorisation de connaissances académiques aux dépends des connaissances locales expertes peut miner l'importance qu'une communauté va accorder à son système de connaissances locales (Bouchard-Bastien et Doyon, 2022). Cette hiérarchisation des connaissances et de la production des savoirs (Gaudette et Germain, 2026) peut alors impacter non seulement notre compréhension d'un aléa et de sa complexité, mais aussi dévaloriser le système de connaissances locales expertes d'une communauté (Bouchard-Bastien et Doyon, 2022).

La méthode utilisée a permis de rejoindre des personnes ayant un système de connaissances approfondies sur les embâcles de glace avec des portraits et des connaissances complémentaires et non divergentes[3]. La valorisation de ces connaissances locales expertes mène à une meilleure compréhension de la complexité et l'unicité des embâcles de glace de la rivière Mitis. Alors que l'expertise est plus distribuée à travers la société qu'il n'y paraît (Callon, 1999), il devient important de s'attarder aux façons de mobiliser cette expertise (Lane *et al.*, 2011).

1.8 CONCLUSION

Le processus de formation d'embâcle de glace varie pour chaque embâcle et chaque rivière prédisposée à former des embâcles. En effet, les nombreuses variables liées aux caractéristiques de la glace, à la morphologie de la rivière, au débit et aux conditions météorologiques vont influer une grande variabilité dans les types d'embâcles qui seront formés et les processus fluvios-glaciels associés. Le processus d'intégration des connaissances (locales expertes et académiques) réalisé a mené à une meilleure compréhension de la complexité et l'unicité des embâcles de glace de la rivière Mitis, dans sa spatialisation et sa temporalité.

En effet, la spatialisation de la dynamique glacielle de la rivière Mitis est caractérisée par trois zones de production, transport et accumulation de glace et de frasil identifiées par les connaissances locales expertes et académiques. La temporalité de la formation des embâcles de glace est associée à des conditions météorologiques particulières et une gestion du niveau de l'eau. Quant à elle, la formation des embâcles sur la rivière Mitis est surtout due à la combinaison de causes naturelles d'après les connaissances locales expertes, soit la dynamique fluviale, la météorologie et les caractéristiques du couvert de glace.

La complémentarité et la convergence des différentes connaissances (locales expertes et académiques) dans les résultats sur la spatialité de la dynamique glacielle et les causes de

[3] Les forces et les limites du recrutement seront davantage développées dans le deuxième chapitre.

formation d'embâcle de glace confirment la pertinence de cibler les personnes ayant un système de connaissances locales expertes au début du processus intégratif. Au sein des systèmes de connaissances locales expertes sur les embâcles de glace de la rivière Mitis, ce qui influence le système de connaissances des personnes ayant participé aux entretiens est lié au nombre d'observations (locales ou généralisées) et au temps d'expérience. Si la méthode nécessite de cibler des personnes avec un système de connaissances locales expertes, la présence de ces connaissances dépend en partie de leur niveau de familiarité de l'aléa.

Ainsi, le processus intégratif réalisé a permis de mieux comprendre la complexité des embâcles de glace de la rivière Mitis en évitant de hiérarchiser les connaissances, tout en respectant le système de connaissances qui leur sont propre. Ce processus ouvre une réflexion vers quelles connaissances devraient être utilisées dans la compréhension de la complexité d'un phénomène naturel localisé et comment les connaissances locales pourraient y être davantage valorisées à leur juste valeur.

CHAPITRE 2

INTEGRATION DES CONNAISSANCES POUR CARTOGRAPHIER LES INONDATIONS LIEES AUX EMBACLES DE GLACE

Les embâcles de glace 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 des limites des approches académiques les plus couramment utilisées. Pour enrichir et bonifier les connaissances générées par ces approches, l'intégration des connaissances est utilisée comme cadre conceptuel. Ainsi, des connaissances académiques, de gestionnaires et de personnes riveraines ont été mobilisées afin de cartographier les zones inondables en lien avec les embâcles de glace sur la rivière Mitis (Québec, Canada). En effet, la stratégie de recrutement des personnes participantes a permis de cibler des personnes avec un système de connaissances locales expertes. En les intégrant avec les connaissances académiques issues d'une modélisation hydraulique stochastique et de niveaux d'eau historiques associés à des cicatrices glacielles, les résultats illustrent majoritairement des zones de convergence entre les différentes connaissances, avec quelques zones de complémentarité. De plus, le processus intégratif permet d'explorer les limites de chaque connaissance. Devant la complexité des inondations par embâcle de glace, l'intérêt de l'approche est de proposer une méthode flexible qui mène à un outil de gestion (cartographie) qui intègre différentes connaissances offrant une vision plus complète des inondations liées aux embâcles de glace et de diminuer les incertitudes liées à sa cartographie.

L'article a été réfléchi et rédigé par Zoé Martineu. Le professeur Thomas Buffin-Bélanger, ainsi que les professeures Mélanie Trudel et Julie Ruiz, ont contribué à la conceptualisation de la recherche et aux différentes étapes de révision de l'article en tant que co-auteur et co-autrices. La collecte et l'analyse des données a été réalisée par Zoé Martineu (assistée par des personnes sur le terrain), mise à part la modélisation stochastique, qui a été réalisée par Sergio Croquer Perez, et le traitement des données des cicatrice glacielles, réalisé par Victoria Litalien. Les résultats ont été présentés au 19e Colloque sur les risques naturels au Québec en mai 2025 à Montréal (92e congrès de l'Acfas) et à la 5e Conférence de I.S.Rivers en juin 2025 à Lyon (France). L'article sera soumis en français à la revue *VertigO* en août 2026 en soumission spontanée, accompagné d'une version traduite en anglais.

Mots clés : Inondation, embâcle de glace, intégration des connaissances, connaissances locales, cartographie de l'aléa

2.1 INTRODUCTION

Les embâcles de glace sont des phénomènes hydrauliques communs des rivières canadiennes (Chen et She, 2020 ; Rokaya *et al.*, 2018b), comme celles du Québec (Arsenault-Boucher *et al.*, 2025), qui peuvent engendrer des inondations de grande ampleur (Lindenschmidt *et al.*, 2016). Ces épisodes d'inondations peuvent mener à des dommages de millions de dollars pour les propriétés et les entreprises des communautés riveraines, en plus de compromettre la sécurité publique (Lindenschmidt *et al.*, 2016).

De façon générale, le processus de formation d'un embâcle de glace débute lorsque le niveau de l'eau augmente avec le débit, ce qui disloque la glace et réduit ses ancrages à la rive (Lindenschmidt, 2020). Cette augmentation provient de la fonte de la neige (en lien avec l'augmentation des températures de l'air), des précipitations de pluie ou une concomitance de ces événements (Beltaos, 2002). En parallèle, ce processus de formation d'embâcle nécessite un couvert de glace qui détient encore une bonne résistance mécanique, alors que l'amincissement et la détérioration de la glace ne sont pas suffisamment avancés par la fonte thermique du couvert de glace (Lindenschmidt, 2020). L'augmentation de la vitesse de l'écoulement facilite le déplacement de la glace fragmentée, ce qui la concasse en de plus petits morceaux (Beltaos, 2002). Les morceaux et les blocs de glace sont ensuite transportés par l'écoulement et peuvent se coincer en aval lorsque l'écoulement devient entravé (par un couvert de glace stationnaire, des obstacles, un changement de pente, la réduction de la largeur ou de la profondeur du cours d'eau, etc.) (De Munck *et al.*, 2017). Cet amoncellement coincé est alors appelé embâcle de glace, d'une longueur pouvant varier de centaines de mètres à plusieurs kilomètres de long (Lindenschmidt, 2020 ; Prowse, 1986). La Figure 9 illustre cette suite d'évènements. Les embâcles d'une certaine envergure peuvent provoquer une augmentation du niveau de l'eau, parfois jusqu'à plusieurs mètres de plus que le niveau d'eau plein bord en eau libre (Lindenschmidt *et al.*, 2016). De ce fait, ce réservoir temporaire peut causer des inondations en amont de l'embâcle (Lindenschmidt, 2020). Lorsque l'embâcle cède, il libère ce grand volume d'eau en une courte période sous la forme d'une vague d'eau et de glace (Lindenschmidt, 2024 ; Nafziger *et al*., 2016), nommée *"jave"* en

anglais de la combinaison de *"jam"* pour embâcle et *"wave"* pour vague ou onde de crue (Beltaos, 2008b). Cela peut également entrainer des inondations et/ou briser le couvert de glace encore intact en aval et construire à nouveau un embâcle (Lindenschmidt, 2024).

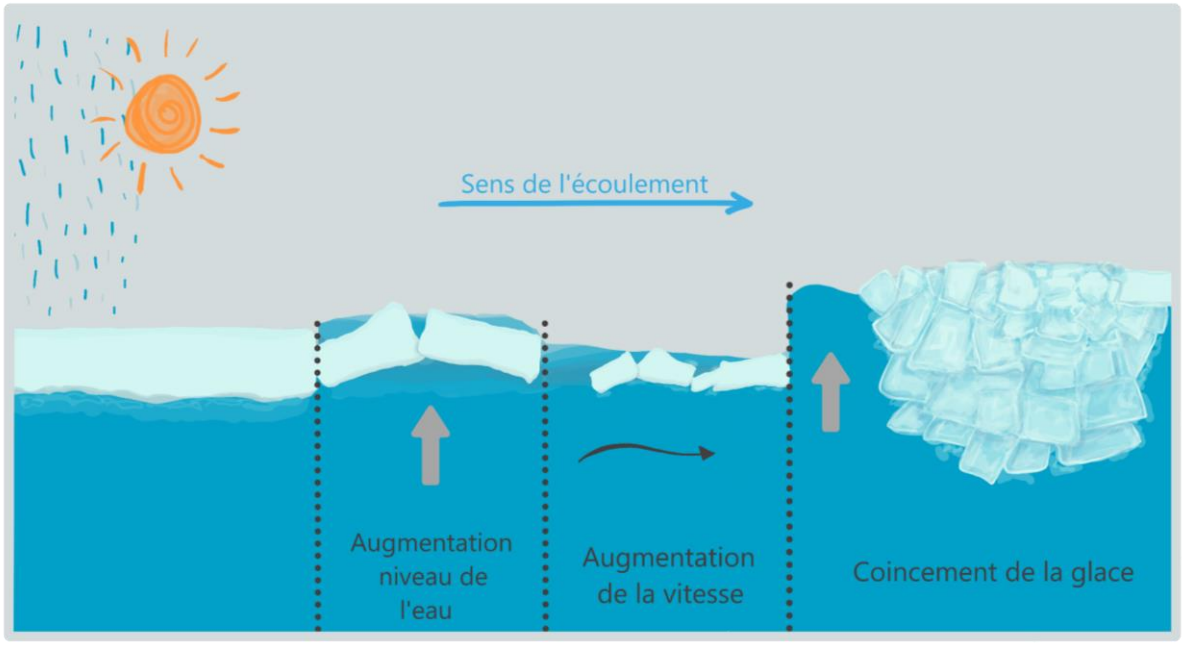


Figure 9. Schématisation simplifiée de la formation d'un embâcle de glace selon les travaux de Prowse (1986), Beltaos (2002), Nafziger *et al*. (2016), Lindenschmidt *et al*. (2016), De Munck *et al*. (2017) et Lindenschmidt (2020, 2024)

Ainsi, 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 (Das *et al.*, 2023 ; Kovachis *et al.*, 2017). Ces augmentations sont encore difficiles à estimer exactement (Das *et al.*, 2023), ce qui rend ardue leur intégration dans des outils réglementaires, telle que la cartographie des zones inondables (Das *et al.*, 2020). 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 donc grandement impactées (Massie *et al.*, 2002).

Les connaissances les plus couramment utilisées pour cartographier les inondations en lien avec les embâcles de glace sont celles provenant d'approches académiques des sciences

naturelles, comme les modélisations hydrauliques, l'utilisation d'étendues inondées d'évènements passés, etc. (Kovachis *et al.*, 2017). Alors que les méthodes d'étude et de cartographie des inondations en eau libre sont bien établies et reconnues, celles pour les inondations causées par embâcles de glace demeurent moins définies (Kovachis *et al.*, 2017). En effet, l'imprévisibilité de la plupart des événements dynamiques liés à la glace rend difficile la collecte des données pour calibrer les modèles hydrauliques et alimenter l'historique d'étendues inondées (Das et Lindenschmidt, 2021 ; Duguay *et al.*, 2023 ; Pagneux et Snorrason, 2012). De plus, chaque embâcle peut être considéré comme unique, 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.) (Das & Lindenschmidt, 2021 ; Lindenschmidt, 2023). Il demeure donc complexe de représenter la réalité et de prédire l'occurrence d'embâcles de glace et des inondations reliées sur un territoire donné (Das & Lindenschmidt, 2021 ; Lindenschmidt, 2023).

Afin de combler et de bonifier les connaissances académiques, les connaissances locales peuvent être utilisées pour mieux comprendre un phénomène (Apetrei *et al.*, 2021 ; Hermans *et al.*, 2022 ; Mackinson, 2001 ; Raymond *et al.*, 2010). Tandis que les savoirs académiques sont essentiellement générés par des processus formalisés, les savoirs locaux sont générés à travers des règles et des normes culturelles, des interactions entre l'humain et l'environnement ou l'expérience personnelle (Hermans *et al.*, 2022). Le terme de savoir académique est utilisé ici pour désigner un système de connaissances développées dans un contexte académique, au lieu du terme savoir scientifique plus répandu dans la littérature. Tel que souligné par Hermans *et al.* (2022) et Tengö *et al.* (2014), les connaissances locales du savoir local peuvent être scientifiques, en pouvant aussi être acquises par des processus formalisés qui leur sont propres. Le développement de savoirs ou de connaissances scientifiques n'est donc pas seulement réservé aux scientifiques du milieu académique (Lane *et al.*, 2011). Si plusieurs études se sont penchées sur les représentations des embâcles de glace et de la glace de rivière par les populations (Khalafzai *et al.*, 2021 ; Pagneux *et al.*, 2011 ; Rokaya *et al.*, 2018a ; Takakura, 2018), les connaissances des personnes locales

tardent à être considérées pour mieux comprendre les inondations par embâcle de glace. Face à des phénomènes complexes, les connaissances locales sont souvent considérées comme anecdotiques (Lane *et al.*, 2011 ; Mackinson, 2001). Devant la complexité des inondations par embâcle de glace, leur surveillance et les incertitudes liées à leur prédiction, l'intégration de connaissances académiques et locales constitue pourtant une approche à développer afin de mieux comprendre le phénomène et diminuer les incertitudes associées à sa cartographie. En effet, l'intégration des connaissances est une approche souvent utilisée pour mieux comprendre l'ampleur, la complexité et les incertitudes de problèmes environnementaux (Apetrei *et al*., 2021 ; Hermans *et al.*, 2022 ; Tengö *et al.*, 2014). Si les recherches intégratives se concentrent surtout sur les résultats de l'intégration, le processus d'intégration demeure peu détaillé concernant sa mise en application, la méthodologie employée, sa portée et les défis liés à l'utilisation de différents systèmes de connaissances (locales et académiques) pour répondre à une problématique (Apetrei *et al.*, 2021 ; Bwambale *et al.*, 2020 ; Raymond *et al.*, 2010).

Ce travail explore l'intégration de connaissances locales et académiques en tant que processus pour fournir un meilleur outil de gestion face à l'aléa d'inondation par embâcle de glace, soit une cartographie intégratrice. En utilisant plusieurs connaissances et en identifiant les limites de chacune pour cartographier les inondations par embâcle de glace, les différentes informations pourront se compléter entre elles et permettre de diminuer les incertitudes associées à sa cartographie. Le premier objectif est de développer une méthode d'intégration des connaissances, afin de recueillir des connaissances provenant du milieu académique et des connaissances locales (de gestionnaires et de personnes riveraines) par rapport à cet aléa. Le deuxième objectif est d'intégrer ces connaissances dans une cartographie des espaces fluviaux susceptibles d'être influencés par les inondations liées aux embâcles de glace. L'intégration des connaissances sera d'abord présentée et définie dans le cadre du projet, puis sa mise en application sera décrite. Enfin, des réflexions relatives à son application seront émises, pour qualifier ses limites, ses forces et les améliorations possibles.

2.2 INTÉGRATION DES CONNAISSANCES

Hermans *et al.* (2022, p.1129) définissent l'intégration des connaissances comme « a collective process of synthesizing or combining specialized yet differentiated local and scientific knowledge possessed by local people and scientists into a common knowledge that is efficient, flexible, and within the scope of decision-making ». En gestion de l'environnement, l'intégration de différents types de connaissances parfois divergentes peut permettre le développement de nouvelles théories, méthodes et savoirs (Mackinson, 2001 ; Raymond *et al.*, 2010). L'intégration des connaissances occupe aujourd'hui des problématiques environnementales diverses comme la conservation de la biodiversité, la gestion des risques ou les savoirs sur les changements climatiques (Gagnon et Berteaux, 2009 ; Hermans *et al.*, 2022 ; Raymond *et al.*, 2010 ; Tengö *et al.*, 2014). Ultimement, l'intégration des connaissances promeut une meilleure compréhension commune des problématiques de gestion environnementale (Mackinson, 2001 ; Raymond *et al.*, 2010).

Différentes approches cherchant à combiner plusieurs systèmes de connaissances (locales, autochtones, académiques) sont reconnues (Bullen & Miles, 2024 ; Cheung *et al.*, 2016 ; Elineau *et al.*, 2020 ; Gagnon & Berteaux, 2009 ; Gillson *et al*., 2019 ; Mackinson, 2001 ; Pagneux *et al*., 2011 ; Raymond *et al*., 2010 ; Tengö *et al*., 2014), mais les limites de ces différents types ou modèles possibles d'intégration des connaissances demeurent flous (Apetrei *et al.*, 2021 ; Bwambale *et al.*, 2020 ; Hermans *et al.*, 2022). Selon Hermans *et al*. (2022), il est tout de même possible d'illustrer différents niveaux d'intégration en identifiant les extrêmes et en les reportant sur un spectre (Figure 10, **III**). Ainsi, la simple validation des connaissances académiques par des connaissances locales demeure un bas niveau d'intégration. En revanche, les approches de recherche participatives qui cherchent à combiner plusieurs connaissances provenant de différents systèmes de connaissances par une co-construction à toutes les étapes d'un processus de recherche peuvent être considérées comme ayant un haut niveau d'intégration des connaissances. Quant à elle, l'approche des preuves multiples (« *multiple evidence base approaches* ») de Tengö *et al.* (2014), propose de considérer les systèmes de connaissances autochtones, locaux et académiques comme

étant complémentaires et pouvant contribuer à enrichir le portrait et la compréhension d'un phénomène naturel. Selon cette approche, l'évaluation des connaissances utiles pour la question étudiée doit se faire au sein des systèmes de connaissances plutôt qu'entre différents systèmes de connaissances. De cette façon, les connaissances sont mises en valeur selon les termes de leur propre système de connaissances, autant pour les systèmes de connaissances autochtones que les systèmes de connaissances académiques de différentes disciplines (ex. sciences naturelles vs sociales). Au sein de l'approche des preuves multiples, Tengo *et al.* (2014) soulignent qu'il importe de distinguer l'intégration des connaissances et l'approche parallèle. L'intégration des connaissances se limite à valider les connaissances académiques avec les connaissances locales, contrairement à l'approche parallèle, qui est centrée autour des complémentarités et des convergences à travers le système de connaissances. Face à ces conceptualisations différentes, il importerait alors que les recherches utilisant l'intégration des connaissances définissent leurs postures par rapport à l'approche utilisée, ce qui permettrait d'avoir un terrain d'entente commun avant de discuter de projets intégratifs (Hermans *et al.*, 2022 ; Raymond *et al.*, 2010). La posture des personnes qui font l'intégration doit être définie et revisitée constamment, tout en gardant une flexibilité à travers les méthodes utilisées (Raymond *et al.*, 2010). Effectivement, ce n'est pas seulement au rendu final qu'il faut s'attarder à la valorisation de chaque connaissance, mais aussi durant la planification et la réalisation du processus intégratif (Raymond *et al.*, 2010).

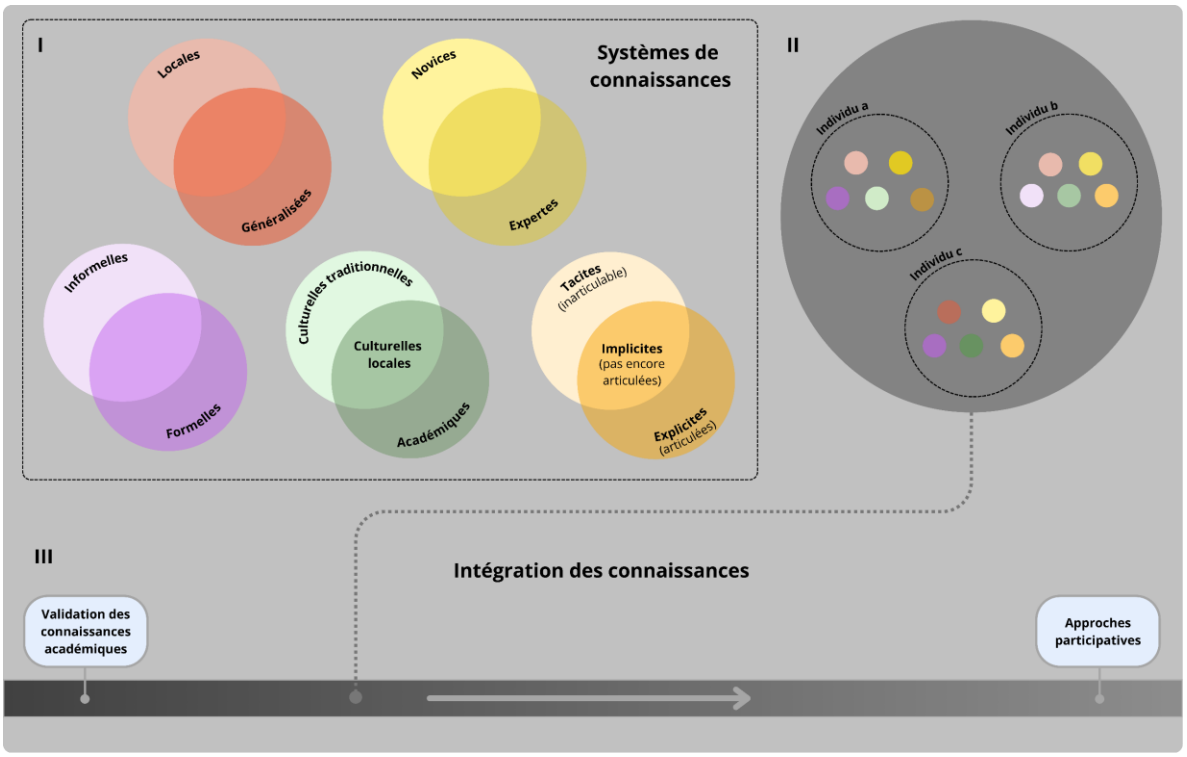


Figure 10. Schématisation de l'approche d'intégration des connaissances selon les travaux de Hermans *et al*. (2022) et Raymond *et al*. (2010). **I** : Systèmes de connaissances ; **II** : Exemple de connaissances provenant de différents systèmes et de trois personnes différentes, qui peuvent être intégrées au sein d'un même projet ; **III** : Positionnement du projet sur le spectre de l'intégration des connaissances et ses différents extrêmes de niveaux d'intégration

Dans le cadre de ce projet, l'intégration des connaissances est vue comme un processus, au sein duquel la posture des personnes qui la font doit être nommée, transparente, et reconnue à toutes les étapes de ce processus. Dans la présente recherche, ce sont les auteur.es, avec une posture académique, qui ont manœuvré l'intégralité du processus. Les champs d'expertise de l'équipe de recherche comprennent la géographie, l'hydrogéomorphologie, l'hydraulique et les sciences sociales relatives à la gestion de l'environnement. Au commencement du processus d'intégration, les systèmes de connaissances de l'équipe de recherche par rapport aux embâcles de glace et les inondations liées variaient de novices à expertes et de locales à généralisées. Ces connaissances ont toutefois été acquises dans un contexte académique, ce qui fait en sorte que notre posture académique a nécessairement

influencé le processus, que ce soit durant la réflexion quant à l'approche d'intégration des connaissances, le recrutement des personnes participantes, la cueillette de données, l'analyse ou l'interprétation. En conséquence, le projet pourrait se trouver assez bas sur le spectre de l'intégration des connaissances du cadre théorique de Hermans *et al*. (2022) (voir la ligne pointillée sur la Figure 10, **III**). Dans le cadre de l'approche des évidences multiples de Tengö *et al.* (2014), la méthode utilisée ici se situe à l'interface de l'approche parallèle et de l'intégration des connaissances, alors que les connaissances locales ne seront pas utilisées pour valider les connaissances académiques, mais pour être intégrées avec les connaissances académiques et explorer les lieux de convergence, de divergence et de complémentarité entre les connaissances.

En utilisant différents systèmes de connaissances, leur catégorisation peut constituer un enjeu pour les approches d'intégration des connaissances (Raymond *et al.*, 2010). En ce sens, la distinction en termes de connaissances « locales », « académiques » ou « hybrides » (issues de l'intégration des connaissances et/ou de recherche transdisciplinaire) peut être considérée comme étant trop simpliste (Hermans *et al.*, 2022 ; Raymond *et al.*, 2010). En effet, cette catégorisation ne tient pas suffisamment compte de la manière dont les personnes apprennent, donnent un sens aux nouvelles informations, ou aux contextes sociaux qui influencent leur compréhension (Apetrei *et al.*, 2021 ; Raymond *et al.*, 2010 ; Turnbull, 1997). Tel que souligné par Raymond *et al.* (2010), il est alors important de s'attarder à l'identification et l'évaluation des différentes connaissances impliquées et à la manière dont elles peuvent être pertinentes dans les premières étapes du processus d'intégration des connaissances. Différents systèmes de connaissances peuvent donc être employés dans le cadre de l'approche d'intégration des connaissances (Figure 10, **I**). Le système des connaissances culturelles locales se distingue du système des connaissances culturelles traditionnelles, car il découle d'interactions plus récentes entre les humains et leur environnement, plutôt que d'être ancré dans des pratiques culturelles plus anciennes (Raymond *et al.*, 2010). Puis, en prenant le contexte de la gestion de l'eau comme exemple, les personnes gestionnaires de l'environnement peuvent avoir un système de connaissances tacites ou implicites sur les inondations, en ayant pas encore formulé ces connaissances ou

en ayant du mal à expliquer explicitement pourquoi elles savent ce qu'elles savent (Raymond *et al.*, 2010). En revanche, le système de connaissances explicites des gestionnaires réfère aux connaissances qui ont déjà été articulées, comme par l'entremise de rapports écrits, verbaux ou scientifiques (Raymond *et al.*, 2010)Ainsi, une même personne peut détenir des connaissances de différents types sur un sujet, en fonction du contexte dans lequel elle les a acquises (la culture locale, le travail comme gestionnaire et/ou le milieu de la recherche académique, etc.), de l'étendue de ces connaissances (novices ou expertes), de leur dimension spatiale (localisée et/ou généralisée) et de la manière dont elle les partage (Figure 10, **II**).

L'approche peut également comporter plusieurs défis, tels que l'utilisation de méthodes multiples et celui de trouver les connaissances locales. En utilisant des méthodes qui proviennent de domaines différents et donc d'épistémologies différentes, l'intégration peut rapidement devenir complexe (Raymond *et al.*, 2010 ; Tengö *et al.*, 2014). Par exemple, les méthodes qualitatives et quantitatives n'utilisent pas les mêmes critères de validation des données (Tengö *et al.*, 2014). Ensuite, les personnes qui détiennent des connaissances clés pour l'intégration peuvent être difficiles à trouver. Si elles ne sont pas rejointes, cela ne veut pas nécessairement dire que les connaissances du système de connaissances locales n'existent pas, cela peut simplement vouloir dire qu'elles n'ont pas été trouvées (Lane *et al.*, 2011). Ces défis sont importants à nommer, mais une des forces de l'approche est qu'elle offre une flexibilité à travers le processus, autant durant l'intégration de données provenant de différentes méthodes, que durant les efforts multiples de recrutement des personnes participantes pour rejoindre les personnes clés.

L'intégration des connaissances est donc utilisée ici comme une approche qui pourrait à la fois permettre de mieux comprendre les inondations liées aux embâcles de glace, mais aussi de valoriser les connaissances locales de personnes riveraines et de gestionnaires dans un processus qui se veut le plus équitable possible, sans les hiérarchiser par rapport aux connaissances académiques.

2.3 SITE D'ETUDE

Le projet a été réalisé sur la rivière Mitis au Bas-Saint-Laurent (Québec, Canada). Cette rivière s'écoule des plateaux appalachiens vers l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, avec une aire drainée de 1828 km^2 (Allard *et al.*, 2011 ; Massé *et al.*, 2020) (Figure 3). La rivière de 51 km de long détient deux tributaires majeurs, soit la rivière Mistigougèche et la rivière Neigette. Le projet a été réalisé sur un tronçon de 15 km de la rivière Mitis, qui traverse le village de Sainte-Angèle-de-Mérici, au Bas-Saint-Laurent (Québec, Canada). Dans ce tronçon s'opère une transition fluviale d'un style sinueux à seuils-mouilles vers un style fluvial à méandres stables (Allard *et al.*, 2011). Ce secteur a été choisi car le village de 989 personnes subit régulièrement des inondations par embâcles de glace, allant de sévérité mineure à modérée (Gouvernement du Canada, 2022 ; Ministère de la Sécurité intérieure, 2025) et a été suivi à travers plusieurs études sur les dynamiques fluvio glacielles (Allard, 2010 ; Allard *et al.*, 2011 ; Benacchio, 2017 ; Bérubé, 2014 ; Biron *et al.*, 2018, 2019 ; Duguay *et al.*, 2021, 2025 ; Litalien *et al.*, 2025 ; Martel, 2019) et les inondations (Besnard, 2016 ; Dumont et Buffin-Bélanger, 2022 ; Jousse, 2012 ; Massé *et al.*, 2020, 2022).

2.4 MÉTHODE

Dans le processus intégratif des connaissances, des connaissances provenant de deux grands systèmes de connaissances ont été recueillies : les connaissances académiques et les connaissances locales expertes (riveraines et gestionnaires).

2.4.1 Connaissances académiques

Les connaissances académiques utilisées se résument à deux groupes de données combinées : la modélisation hydraulique stochastique et les cicatrices glacielles.

D'abord, une modélisation hydraulique a été réalisée dans le secteur par Croquer Perez *et al.* (2026), en adaptant la méthode établie par Duguay *et al*. (2025) et Litalien *et al.* (2025). Un modèle hydraulique 1D en eau libre a été utilisé en l'adaptant pour simuler les conditions

de la rivière avec un couvert de glace complet. Puis, la modélisation stochastique a été réalisée avec 3000 simulations, en faisant varier uniformément à chaque simulation certaines variables d'entrée du modèle, selon une gamme de valeur prédéterminée (Tableau 5). Pour chaque simulation, un embâcle à l'équilibre de type large est formé à tous les 500 mètres environ. Les embâcle de type large se forment dans des chenaux plus larges, par l'accumulation de glace contre le couvert de glace, poussant la glace en aval en épaississant le couvert de glace (Lindenschmidt, 2020). Les embâcles à l'équilibre sont caractérisés par une zone d'équilibre au sein de l'embâcle dont l'épaisseur de la glace entassée et la profondeur d'écoulement n'augmentent pas à mesure que l'embâcle s'allonge avec l'apport des blocs de glace provenant de l'amont (Beltaos, 2021). Le choix des débits a été réalisé en fonction d'une analyse statistique des débits de débâcles historiques sur 82 bassins versants québécois (ne comprenant pas celui de la rivière Mitis par manque de données). Les valeurs d'épaisseur de la glace en amont et en aval de l'embâcle ont été déterminés en fonction de mesures d'épaisseur de glace prises sur le terrain durant les hivers de 2023 à 2025, dont la médiane des mesures de chaque transect effectué à chaque site d'échantillonnage variait de 0,31 à 1,14 m. Les valeurs du coefficient de Manning du couvert de glace en amont et en aval de l'embâcle ont été choisies selon les valeurs suggérées pour des couverts de glace variés (US Army Corps of Engineers, 2023). Finalement, les valeurs de l'angle de frottement interne ont été définies en fonction de gamme de valeurs de 30 à 60° recommandée par US Army Corps of Engineers (2023) et les travaux de Beltaos (2010).

Tableau 5. Variables utilisées à travers les 3000 simulations de la modélisation stochastique et leur distribution prédéterminée de valeurs possibles

Variable	**Valeurs**
Position des pieds d'embâcles [chaînage]	1524m à 15028m
Longueur de l'embâcle	500-1000-1500-2000 m
Débit comme condition limite en amont	58-386 m^3/s
Épaisseur de glace	0,30 m à 1,20 m
Coefficient de Manning du couvert de glace	0,01 à 0,03
Angle de frottement interne	30 à 60°

Pour chaque simulation, le modèle détermine une zone inondée. Ainsi, la modélisation stochastique permet d'avoir une distribution des zones inondées à travers les simulations (Duguay *et al.*, 2025). Pour avoir une cartographie des inondations par embâcle de glace qui se rapproche de la réalité, la distribution a été comparée qualitativement avec l'élévation du haut de cicatrices glacielles.

Les cicatrices glacielles correspondent aux cicatrices laissées sur les arbres et les arbustes riverains par des blocs de glace lors d'épisodes d'embâcles de glace (Boucher *et al.*, 2009b ; Lagadec *et al.*, 2015). Ces données renseignent sur la spatialisation (position) et la magnitude (niveau d'eau) des embâcles de glace dans le tronçon à l'étude (Boucher *et al.*, 2009b ; Lagadec *et al.*, 2015 ; Lubiniecki *et al.*, 2024). Les positions des cicatrices glacielles ont d'abord été relevées systématiquement avec un GNSS (*Global Navigation Satellite System*) station totale Trimble S6 sur tous les arbres et les arbustes dans quatre secteurs du tronçon d'étude à l'automne 2024, avec leur position et élévation (bas et haut de chaque cicatrice). Ces quatre secteurs ont été choisis pour maximiser le temps de la campagne terrain dans des secteurs qui sont situés où il y a des enjeux (habitations, routes, infrastructures, etc.). Ensuite, des cicatrices ont été relevées avec un GNSS Leica GS18 T au printemps 2025 pour avoir des cicatrices davantage réparties de l'amont vers l'aval dans le secteur d'étude et s'assurer que le choix du percentile de la modélisation représente l'ensemble du secteur d'étude. Les cicatrices y ont donc été relevées selon un échantillonnage opportuniste afin d'obtenir des élévations ponctuelles et non-densifiées, mais réparties sur le tronçon d'étude. Le jeu de données des élévations des cicatrices utilisées est disponible sur le site de dépôt de données Borealis (Trudel *et al.*, 2026). En fonction de l'élévation de l'ensemble de ces cicatrices, le 75^{e} percentile de la distribution a été choisi pour produire la cartographie (Figure 11). Sur la Figure 11, les quatre secteurs de cicatrices plus denses en aval ont été relevés à l'automne 2024 alors que le secteur amont avec des cicatrices plus éparses a été relevé au printemps 2025.

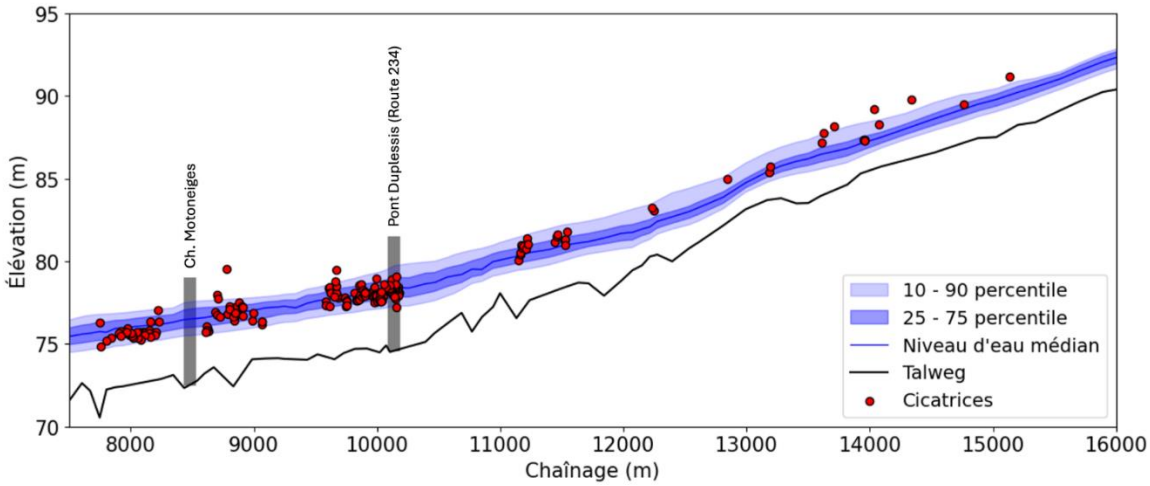


Figure 11. Distribution des niveaux d'eau obtenus à partir des simulations stochastiques pour le secteur de Sainte-Angèle-de-Mérici (Tiré de Croquer Perez *et al.* (2026))

2.4.2 Connaissances locales expertes

Pour les connaissances locales (riveraines et gestionnaires), les personnes ont été recrutées avec l'intention de rencontrer des personnes avec un système de connaissances expertes par rapport aux inondations par embâcle de glace (personnes riveraines ou gestionnaires), soit des connaissances qui reflètent une expérience approfondie sur le sujet. Les personnes ayant un système de connaissances expertes peuvent reconnaître des tendances et des problèmes qui ne seront pas facilement identifiés par des personnes avec un système de connaissances novices (Raymond *et al.*, 2010). Dans le processus d'intégration de connaissances provenant de différents systèmes de connaissances, il est nécessaire d'identifier et d'évaluer les différents systèmes de connaissances en jeu et leur pertinence potentielle dès les premières étapes du processus (Raymond *et al.*, 2010). En ce sens, seulement les personnes détenant un système de connaissances expertes ont été ciblées, afin de répondre à l'objectif du projet et mener à une meilleure compréhension de l'aléa.

Quatre techniques de recrutement ont été utilisées pour maximiser les entrées dans la communauté et identifier des personnes expertes (Ellard-Gray *et al.*, 2015 ; Mackinson,

2001). Les personnes gestionnaires ont d'abord été contactées dans le cadre de leur emploi en supposant que leur système de connaissances expertes était lié à leur travail. Pour les personnes riveraines, du porte-à-porte a ensuite été réalisé dans des secteurs habités de Sainte-Angèle-de-Mérici à proximité de la rivière et des affiches (Annexe I. Affiches de recrutement pour les personnes riveraines) ont été posées dans des lieux publiques variés (garage, bibliothèque, école, etc.). Le porte à porte a été effectué à trois moments différents, soit deux journées de semaine différentes (de l'après-midi au début de soirée) et une journée de fin de semaine (journée entière). Finalement, les personnes recrutées ont été invitées à partager le contact d'autres personnes riveraines qui auraient des connaissances à partager selon le principe de l'échantillonnage « boule de neige ».

L'enquête a été menée en deux temps auprès des personnes recrutées : d'abord par un questionnaire (en ligne et papier) à l'automne 2024 pour l'ensemble des personnes recrutées, puis par un entretien semi-dirigé individuel à l'hiver 2025 pour les personnes expertes identifiées. Le questionnaire avait pour objectif de relever l'étendue du système connaissances et de cibler les personnes ayant un système de connaissances expertes, étant donné que l'évaluation du système de connaissances et de leur pertinence potentielle est une étape importante à faire au début du processus intégratif (Raymond *et al.*, 2010). Il contenait des questions sur le portrait de la personne interrogée, l'entendue de son système de connaissances, comment elles ont été générées, comment elles sont articulées et comment elles sont accessibles, en s'inspirant du cadre théorique de Raymond *et al*. (2010) pour identifier les systèmes de connaissances (Annexe II Questionnaire destiné aux personnes riveraineset Annexe III. Questionnaire destiné aux gestionnaires). Par exemple, la personne répondante devait décrire un embâcle de glace, identifier où et quand les embâcles de glace se forment sur la rivière Mitis, décrire des évènements d'embâcles vécus et expliquer comment elle partage ses connaissances à son entourage (Tableau 6).

Deux versions du questionnaire ont été distribuées, soit une version pour les personnes riveraines et une version pour les gestionnaires. Entre elles, seulement les sections du portrait de la personne et de l'articulation et l'accessibilité des connaissances différaient (Annexe II

Questionnaire destiné aux personnes riveraineset Annexe III. Questionnaire destiné aux gestionnaires). Pour les personnes riveraines, le questionnaire était accessible en ligne et papier (les réponses pouvaient ensuite être postées à l'équipe de recherche). Certaines personnes ont préféré remplir le questionnaire durant le porte-à-porte. Les stratégies mises en place ont permis le recrutement de 25 personnes riveraines et de sept gestionnaires pour la passation du questionnaire. Une analyse qualitative et quantitative des réponses a ensuite été réalisée pour cibler les personnes ayant un système de connaissances expertes. Cette analyse valorisait les personnes qui habitent le territoire depuis longtemps, qui ont vécu des épisodes d'embâcles la rivière Mitis, qui connaissent où et quand ils peuvent se former et qui détiennent une diversité de sources d'informations et de réseaux de partage de l'information (Tableau 6 et Annexe IV. Critères d'analyse détaillés pour cibler les personnes expertes à partir des réponses du questionnaire pour plus de détails). L'analyse qualitative et quantitative des réponses selon ces thématiques ont permis de cibler six gestionnaires et six personnes riveraines pour les entretiens. L'analyse quantitative a mené à la sélection de trois personnes riveraines et six gestionnaires. Puis, l'analyse qualitative a permis de cibler trois autres personnes riveraines qui avaient un moins bon score quantitatif, mais qui connaissaient différents secteurs de la rivière où il y avait une dynamique glacielle. Par la suite, six gestionnaires et une personne riveraine ont accepté de participer à l'entretien.

Tableau 6. Critères d'analyse des réponses du questionnaire

Section	Question	Type de question	Critères d'analyse	Analyse quantitative	Analyse qualitative
Portrait de la personne	Dans quel secteur de la rivière Mitis votre terrain et/ou votre résidence se situe(nt)?	Choix de réponse	Secteur de la rivière		•
	Quel type de résidence possédez-vous en bordure de la rivière Mitis ?	Choix de réponse	Permanente ou secondaire		•
	Depuis combien de temps possédez-vous votre terrain et/ou y résidez-vous?	Question fermée	Catégorie de temps		•
	À quelle fréquence des embâcles de glace s'y forment?	Choix de réponse	Fréquence	•	
Étendue du système de connaissances	Décrivez-nous ce qu'est pour vous un embâcle de glace.	Question à développement	Définition d'embâcle de glace	•	
	Quand est-ce que les embâcles de glace ont tendance à se former sur la rivière Mitis?	Choix de réponses	Référence à des périodes propices à former des embâcles	•	
	Où est-ce que les embâcles de glace ont tendance à se former sur la rivière Mitis?	Choix de réponses	Référence à des sites de formation d'embâcle	•	
Construction du système de connaissances	Pouvez-vous nous décrire le(s) évènement(s) d'embâcle de glace et/ou de conséquence(s) d'embâcle(s) de glace dont vous avez été témoin sur la rivière Mitis?	Question à développement	Utilité à la cartographie	•	•
	À quelle fréquence avez-vous été témoin d'embâcle de glace et/ou de conséquence(s) d'embâcle(s) de glace sur la rivière Mitis?	Choix de réponse	Fréquence	•	•
Articulation et accessibilité	Comment en êtes-vous arrivé(e) à vous informer sur les embâcles de glace?	Choix de réponses	Diversité des sources (vécu, entourage, médias, etc.)	•	
	À qui les partagez-vous?	Question à développement	Diversité des types (ami.es, famille, voisin.es, municipalité, etc.)	•	
	Sous quelle forme les partagez-vous?	Choix de réponses	Diversité des types (oral, photo/vidéos)	•	

Les éléments en gris concernent les questions qui ont seulement été posées aux personnes riveraines

Durant les entretiens individuels et enregistrés, les personnes ciblées ont été invitées à discuter des inondations par embâcle de glace qu'elles ont vécues autour d'une carte du site d'étude (Annexe V. Guide d'entretien destiné aux personnes riveraines et Annexe VI. Guide d'entretien destiné aux gestionnaires). Les entretiens duraient environ une heure et demie et étaient réalisés dans une salle avec une table, soit au milieu de travail de la personne, chez elle ou à la bibliothèque de l'université, selon sa préférence. Les thématiques abordées concernaient le portrait de la personne et son lien avec les embâcles de glace de la rivière Mitis et la cartographie des zones inondées par embâcles. Durant la cartographie, les questions posées amenaient la personne à tracer sur une carte ses connaissances sur les inondations par embâcle de glace sur la rivière Mitis. Puis, la personne était appelée à qualifier son niveau de confiance par rapport à ses délimitations.

Finalement, les connaissances cartographiées ont été numérisées pour pouvoir les intégrer avec les connaissances académiques dans un système d'information géographique. Lors de la numérisation des zones inondées par embâcles, l'incertitude reliée la confiance affichée durant la délimitation a été notée, en plus de l'incertitude reliée à la délimitation elle-même (Tableau 7). Cette évaluation des différentes incertitudes permet de faciliter le processus d'intégration des connaissances avec les connaissances académiques de la modélisation hydraulique stochastique et des cicatrices glacielles.

Tableau 7. Incertitudes évaluées durant la numérisation des cartes réalisées lors des entretiens, soit les incertitudes liées à la délimitation des éléments et à la confiance affichées durant la délimitation

Incertitudes	**Type**
Confiance affichée	Certaine (a affirmé sa confiance)
	Certaine en partie (a affirmé sa certitude pour une partie de la délimitation seulement)
	Hésitante (a semblé hésitante lors de la délimitation)
	Incertaine (a affirmé son manque de confiance)
Délimitation des inondations	Secteur récurrent (représentant plusieurs inondations confondues)
	Floue (secteur représentant une inondation, mais limites incertaines)
	Partielle (certains endroits exacts dans la délimitation)
	Exacte (délimite exactement l'inondation)

2.5 RESULTATS

Étant donné que l'intégration des connaissances est un processus, des résultats sur la diversité du recrutement, la mémoire collective des embâcles de glace et les cartographies intégratrices des zones inondables par embâcle de glace seront présentés pour nourrir la discussion sur l'intégralité du processus.

D'abord, des données sociodémographiques ont été récoltées dans le questionnaire, pour voir si la stratégie de recrutement permettait de diversifier les points d'entrée dans la communauté pour cibler le plus de personnes riveraines possible avec un système de connaissances expertes. Le profil sociodémographique des 25 personnes riveraines répondantes est diversifié, avec des niveaux d'éducation et des âges variés (Figure 12). Le genre des personnes répondantes a également été relevé, alors que 48% des personnes s'identifiaient au genre féminin.

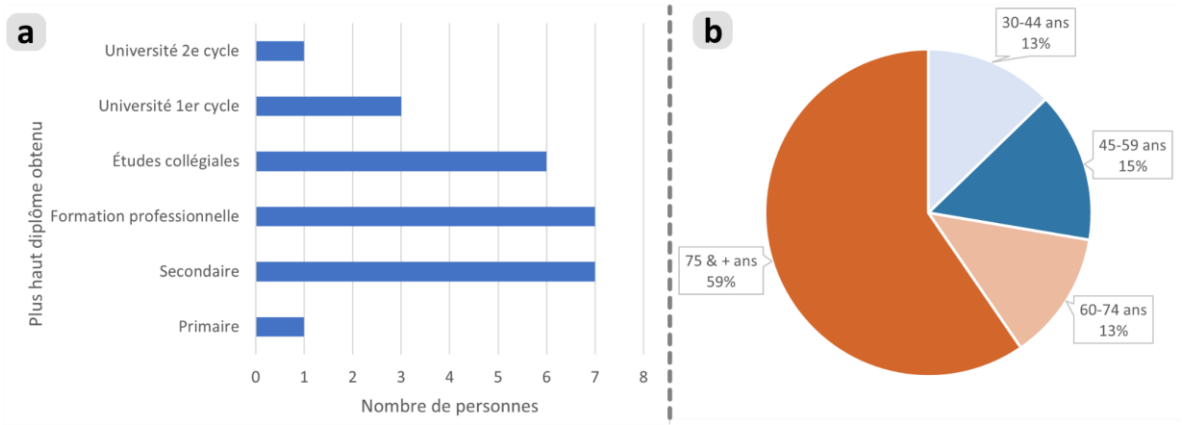


Figure 12. Profil sociodémographique des 25 personnes riveraines qui ont répondu au questionnaire selon le plus haut diplôme obtenu (**a**) et le groupe d'âge d'appartenance (**b**)

Par la suite, la communauté riveraine de Sainte-Angèle-de-Mérici, dont les personnes qui œuvrent dans la gestion de la rivière Mitis, est très familière avec les embâcles de glace et les inondations liées. En effet, il a été nommé à plusieurs reprises durant les entretiens,

qu'elle « connait ses secteurs à risque » (G02) et que « [les gestionnaires] connaissent les secteurs à risque, […] connaissent les personnes à risque, […] savent quoi faire, sont bien organisée[e]s » (G02). La fréquence d'évènements d'embâcles peut influencer cette familiarité, alors qu'il a été nommé qu'« il y a des secteurs qui sont connus, puis pour [les gestionnaires] […], c'est habituel » (G02). Ainsi, « c'est rare que ça arrive pas, un événement ou deux annuellement là, dans le secteur que l'eau va sortir vraiment sur le terrain » (G04), et « les [personnes] qui se font inonder, […] sont habitué[e]s, […] sont pas en panique, personne n'est en panique » (R34). Cette familiarité a donc pu contribuer à la cartographie de l'aléa d'inondation par embâcle de glace, par le nombre d'évènements tracés et la diversité des secteurs nommés.

En intégrant les différentes connaissances dans une cartographie intégratrice des zones inondables par embâcle de glace, la méthode permet d'observer où les connaissances convergent et où elles se complètent (Figure 13 et Figure 14). La symbologie des connaissances locales expertes dépend des types d'incertitude identifiés dans le Tableau 7. Les zones où les connaissances convergent correspondent aux endroits où plus d'une connaissance est présente. Cela peut se présenter lorsqu'un endroit est mentionné par au moins deux personnes ou lorsque qu'un endroit est mentionné par au moins une personne et qu'il est désigné comme étant inondable par la modélisation stochastique. Les zones où les connaissances se complètent correspondent aux endroits où une seule une connaissance est présente : soit une connaissance relevant d'une délimitation avec peu d'incertitude associée (en vert ou en bleu non hachuré), soit une connaissance issue de la modélisation stochastique.

Selon la Figure 13, les connaissances locales expertes convergent pour deux secteurs en particulier, soit le secteur I en amont du village et le secteur II en aval du village, alors qu'ils sont nommés à plusieurs reprises comme étant inondés. À l'extérieur de ces secteurs, les connaissances se complètent, puisque ce sont des délimitations qui se superposent peu, mais dont l'incertitude associée est faible.

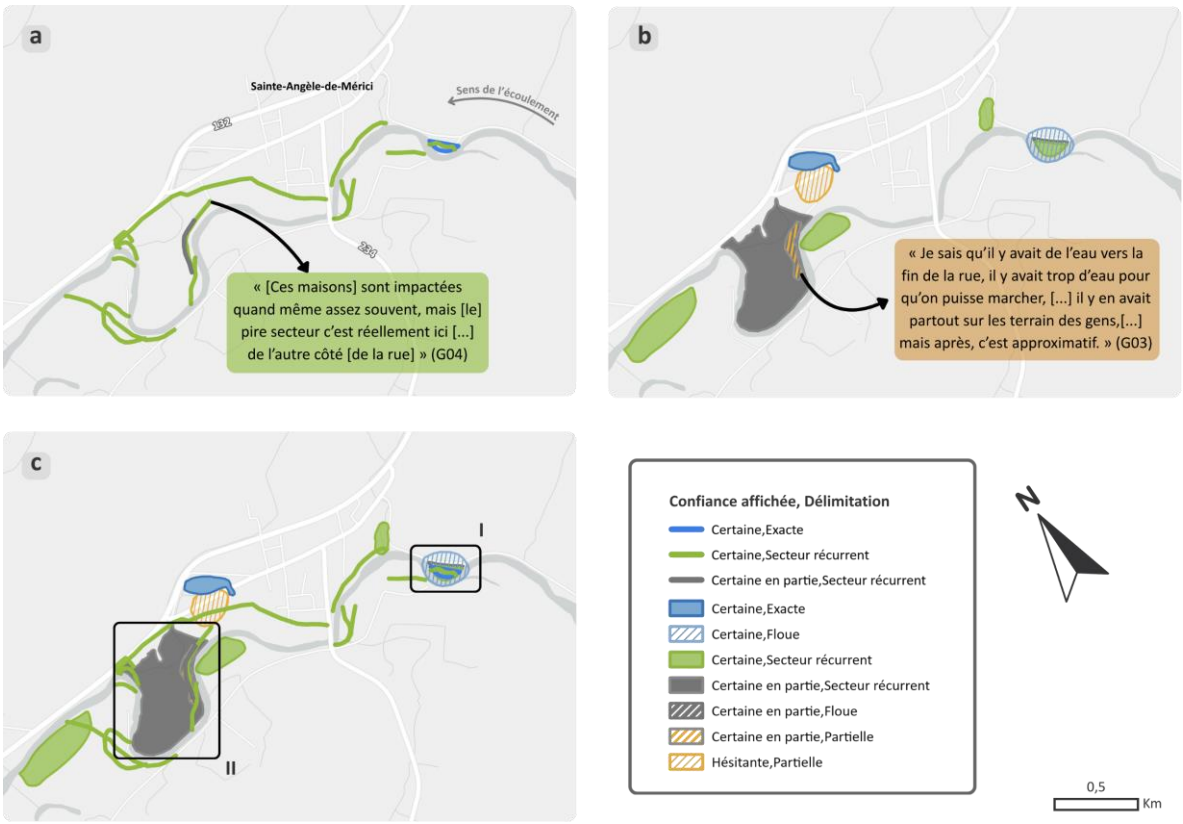


Figure 13. Cartographie intégratrice des inondations par embâcle de glace selon les connaissances locales expertes. **a :** Les inondations par embâcles délimitées sous forme de lignes durant les entretiens ; **b :** Les inondations par embâcles délimitées sous forme de zones durant les entretiens ; **c :** Cartographie intégratrice des différentes connaissances locales expertes. Les encadrés **I** et **II** soulignent des zones de convergence entre les connaissances locales expertes

D'ailleurs, les zones de complémentarité des connaissances locales expertes deviennent des zones de convergence lorsque les connaissances académiques sont ajoutées dans la cartographie intégratrice de la Figure 14 (encadrés III, IV et V). Les secteurs de convergence I et II sont aussi compris dans la zone inondée de la modélisation stochastique, ce qui dénote une forte convergence à ces endroits. En ce sens, la cartographie intégratrice des connaissances locales expertes et académique permet d'observer surtout une convergence des différentes connaissances. Seulement quelques zones de complémentarité, qui sont situées sur des champs agricoles, apparaissent comme inondées uniquement avec la modélisation stochastique.

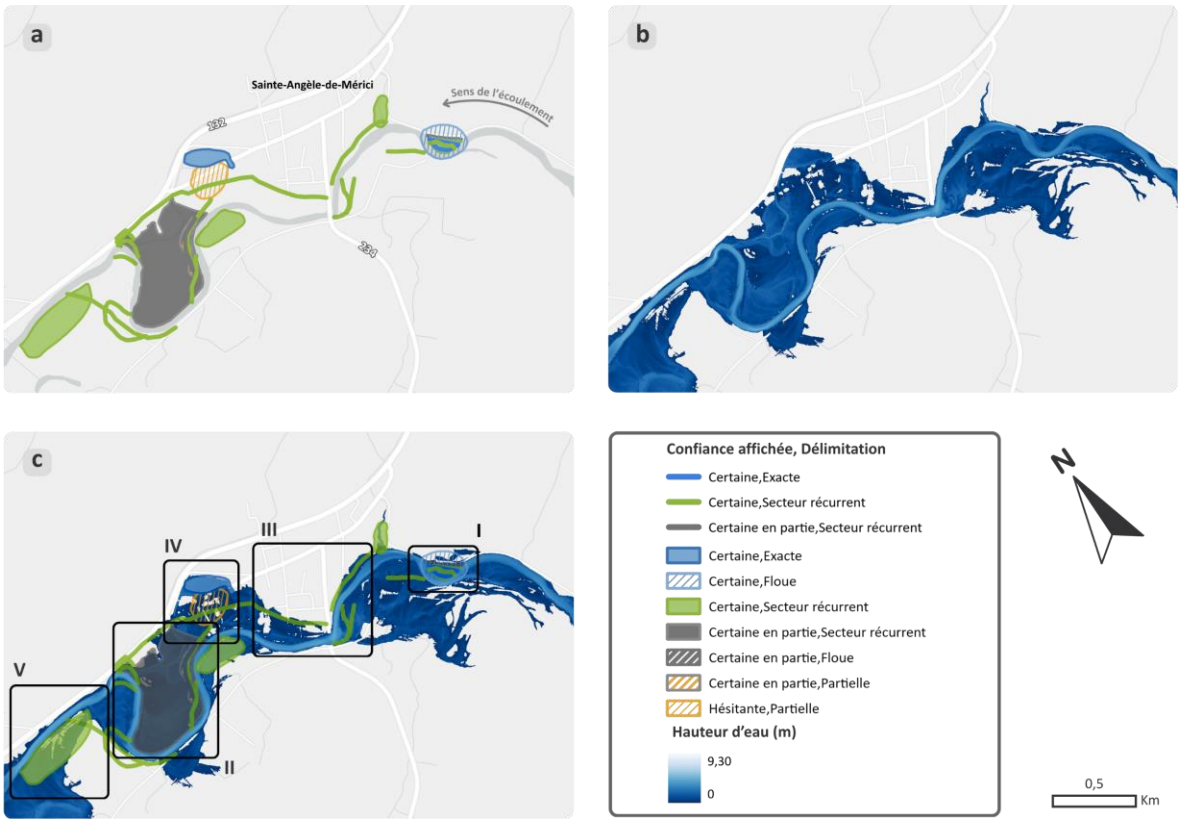


Figure 14. Cartographie intégratrice des inondations par embâcle de glace selon les connaissances locales expertes et les connaissances académiques. **a :** Les inondations par embâcles délimitées durant les entretiens ; **b :** Les inondations par embâcles provenant de la modélisation stochastique (75^{e} percentile) ; **c :** Cartographie intégratrice des différentes connaissances. Les encadrés **I** à **V** soulignent des zones de convergence entre les connaissances locales expertes et académiques

2.6 REFLEXIONS ET PERSPECTIVES

La méthode développée a permis de recueillir des connaissances provenant du milieu académique et des connaissances locales (de gestionnaires et de personnes riveraines) par rapport aux inondations par embâcles de glace sur la rivière Mitis. En les intégrant dans une cartographie des espaces fluviaux susceptibles d'être influencés par les inondations liées aux embâcles de glace, le processus intégratif permet de diminuer les incertitudes associées à la cartographie de l'aléa. En effet, le processus d'intégration réalisé ici tend vers l'exploration

des portées du rendu final, soit la cartographie intégratrice, mais d'abord sur le processus en soi, à travers l'analyse des limites des différentes méthodes et connaissances utilisées.

2.6.1 Connaissances académiques

Les principaux paramètres qui influencent la magnitude d'une inondation causée par un embâcle de glace sont le débit, les caractéristiques du couvert de glace (épaisseur et résistance mécanique), ainsi que la quantité de glace disponible pour la formation d'embâcles (Lindenschmidt *et al*., 2018). Or, la modélisation stochastique réalisée soulève plusieurs incertitudes par rapport aux caractéristiques des couverts de glace simulés et aux types d'embâcles de glace simulés. Des limites sont également associées aux élévations des cicatrices glacielles, alors que le choix du percentile de la distribution des zones inondées par la modélisation repose sur ces dernières.

D'abord, les couverts de glace simulés ont des caractéristiques (épaisseur et résistance mécanique) uniformes à travers les simulations de la modélisation, ce qui n'est pas représentatif d'un couvert de glace riverain, dont l'épaisseur et la composition varient latéralement et de l'amont vers l'aval (Allard *et al.*, 2011 ; Beltaos et Bonsal, 2021). Pourtant, l'épaisseur de glace va déterminer le volume de glace, alors que ce volume est un facteur important concernant la magnitude d'un embâcle (Lindenschmidt *et al*., 2018).

Ensuite, la modélisation stochastique simule des embâcles spécifiques. En effet, elle fournit des zones inondées si un embâcle large en équilibre est formé, parce que la position des embâcles y est imposée. En réalité, les embâcles qui se forment en rivière peuvent être de types étroits (dans des chenaux plus étroits) et ils ne vont pas nécessairement être complètement développés ou en état d'équilibre, en raison de l'apport limité de glace (Lindenschmidt, 2020). Pourtant, ils peuvent tout de même provoquer des inondations (Lindenschmidt, 2020). D'autre part, la vague d'eau et de glace (*jave*) provoquée par le relâchement d'un embâcle en amont peut provoquer des inondations d'une plus grande magnitude que celles calculées pour un embâcle en équilibre (Lindenschmidt, 2020). De plus, en présence d'un couvert de glace suffisamment résistant en aval, celui-ci peut résister aux

forces de cette vague et permettre la formation d'un nouvel embâcle de glace (Beltaos, 2008, 2017 ; Lindenschmidt, 2024). Par contre, en présence d'un autre embâcle en aval, la *jave* peut en augmenter sa magnitude ou causer son relâchement (Lindenschmidt, 2024). En effet, l'arrivée de la *jave* peut potentiellement augmenter le volume de glace de l'embâcle et modifier sa morphologie, ce qui entraîne une élévation du niveau des eaux de refoulement (Lindenschmidt, 2024). Si l'embâcle n'est pas assez résistant à cet apport de volume de glace et d'eau, la *jave* peut causer le relâchement de l'embâcle de glace, créant ainsi une nouvelle *jave*, qui va à son tour déferler plus loin en aval (Lindenschmidt, 2024). Il est également possible que ces suites d'évènements se perpétuent en descendant la rivière, formant ainsi une cascade d'embâcles (Nafziger *et al.*, 2016). Finalement, la rivière Mitis est une rivière reconnue pour sa production de frasil pouvant mener à la formation de barrages suspendus (Allard *et al.*, 2011). Les barrages suspendus, formés par l'accumulation de frasil en dessous du couvert de glace, peuvent aussi entraîner des effets de refoulement du niveau de l'eau importants (Beltaos, 2013a ; Das et Lindenschmidt, 2021 ; Gholamreza-Kashi, 2016). Les types d'embâcles simulés, qui font abstraction des embâcles étroits, des embâcles qui n'atteignent pas l'état d'équilibre, des *javes*, des embâcles en cascade et des barrages suspendus, sont donc limités pour représenter la complexité les inondations par embâcles de glace.

Enfin, les cicatrices glacielles dépendent de la présence d'arbres matures sur le terrain, ce qui peut être influencé par l'âge des arbres riverains et le recrutement des arbres relié à la mobilité de la rivière (Lemay et Bégin, 2008 ; Lubiniecki *et al.*, 2024). L'absence de cicatrice glacielle n'est donc pas nécessairement liée à l'absence de dynamique glacielle dans le secteur, car elle peut simplement être due à l'absence d'arbre matures au bon endroit pour en témoigner (Lemay et Bégin, 2008 ; Lubiniecki *et al.*, 2024). De plus, en fonction de la façon dont les blocs de glace percutent les arbres, les cicatrices peuvent surestimer le niveau d'eau atteint (Gerard, 1981), ce qui n'a pas encore été suffisamment étudié dans le cadre des études de dendrochronologie sur la glace de rivière. Ces différents paramètres influencent donc le témoignage des cicatrices glacielles des niveaux d'eau historiquement atteints par embâcle

de glace, tout comme l'échantillonnage réalisé, qui n'a pas pris en compte l'ensemble des cicatrices sur le tronçon d'étude.

2.6.2 Connaissances locales expertes

La stratégie de recrutement des personnes riveraines visait à rejoindre le plus de personnes possibles possédant des connaissances sur les embâcles de glace de la rivière Mitis. Ainsi, le recrutement ne reposait pas sur l'objectif d'obtenir un échantillonnage représentatif, mais de diversifier les points d'entrées afin de rejoindre le plus de personnes expertes possible. Le questionnaire a permis de cibler les personnes expertes pour recueillir leurs connaissances sur les inondations par embâcle de glace, avant de pouvoir les intégrer dans la cartographie. Plusieurs réflexions en lien avec le processus de recrutement, l'analyse des réponses du questionnaire et la participation aux entretiens méritent d'être soulevées avant de discuter de la cartographie intégratrice.

Concernant la stratégie de recrutement pour le questionnaire, le recrutement des personnes participantes a été fructueux, surtout pour les personnes riveraines, qui accordaient de leur temps personnel pour leur participation (Massé *et al.*, 2018). Alors que les personnes participantes sont souvent les mêmes, soit majoritairement des personnes plus éduquées, plus politisées et plus âgées (Massé *et al*., 2018), les données sociodémographiques des personnes participantes révèlent des portraits diversifiés, autant dans le genre, que l'éducation et la catégorie d'âge (Figure 12). De plus, cette communauté n'a pas été sursollicitée par des projets de recherche universitaire, un élément important à considérer pour maximiser le taux de participation des personnes de la communauté (Petitpierre *et al.*, 2016). La diversification des points d'entrées dans la communauté pour atteindre le plus de personnes avec un système de connaissances expertes est donc une stratégie de recrutement à retenir.

Néanmoins, le choix des personnes expertes pour les entretiens était biaisé par une posture académique. En effet, le questionnaire a été réalisé par l'équipe de recherche, ce qui fait en sorte que les questions qu'il contenait était basées sur un système de connaissances et standards académiques. Lors de l'analyse des réponses du questionnaire, dont les critères ont

également été réfléchis par l'équipe de recherche, les personnes qui répondaient à ces standards pouvaient donc en être valorisées. D'ailleurs, les personnes qui avaient un moins bon score quantitatif dans les réponses du questionnaire délimitaient plus d'éléments et affichaient une plus grande confiance durant les entretiens que les personnes avec un meilleur score quantitatif. Ce constat permet d'affirmer qu'à elle seule, l'analyse quantitative du questionnaire est insuffisante. Dans cette perspective, l'analyse qualitative des questionnaires est d'autant plus importante pour cibler les personnes expertes et limiter ce biais. L'analyse pourrait être améliorée en faisant l'analyse qualitative en premier pour mieux cibler les personnes expertes. Malgré tout, la combinaison de l'analyse qualitative et quantitative a permis de cibler des personnes qui avaient de moins bonnes connaissances académiques du sujet, mais qui connaissaient bien un ou plusieurs évènements d'embâcles. En s'inspirant des recherches de Raymond *et al.* (2010), ces techniques ont permis d'analyser les systèmes de connaissances pour cibler une diversité de connaissances expertes qui se sont révélées complémentaires et convergentes entre elles pour la cartographie (Figure 13).

Le projet a toutefois connu un faible taux de participation des personnes riveraines pour les entretiens, puisque seulement une personne (sur six ciblées) a participé à l'entretien. Ceci peut s'expliquer par plusieurs facteurs, certains échappant à la recherche (Massé *et al.*, 2018). Notamment, il est important de mentionner qu'entre le questionnaire et l'entretien, plusieurs mois se sont écoulés. Le temps d'attente entre les deux étapes pourrait avoir découragé ou désengagé les personnes à participer. Pour faciliter la participation de ces personnes, plusieurs stratégies pourraient être envisagées à l'avenir. Par exemple, en ciblant plus rapidement les personnes expertes (réduction du temps d'analyse), en offrant une rémunération pour leur participation (les gestionnaires étaient tout de même rémunéré.es dans le cadre de leur travail pour participer), en offrant des services de gardiennage, etc. (Ellard-Gray *et al.*, 2015). La mobilisation des connaissances locales expertes dépend donc non seulement de la capacité de la méthode à cibler les personnes expertes, mais aussi de leur volonté et de leur disponibilité à participer au processus intégratif.

Lors des entretiens avec support cartographique, tous les secteurs inondables n'ont pas forcément été délimités. À l'image des cicatrices glacielles, ces secteurs ne sont pas synonymes d'absence de dynamique glacielle. Il se peut que les personnes participantes connaissent moins bien ces secteurs ou que les personnes qui connaissent ces secteurs n'aient pas participé aux entretiens. Le faible taux de participation des personnes riveraines aux entretiens pourrait aussi avoir dirigé les résultats vers des secteurs mieux connus des gestionnaires et où il y a davantage d'enjeux de sécurité publique, au détriment d'autres secteurs non cartographiés mais qui sont tout de même touchés par des inondations causées par des embâcles de glace. Ainsi, l'effort de recrutement des personnes participantes pour les entretiens doit être notable, afin de pouvoir relever le plus de secteurs possibles connaissant une dynamique glacielle.

La familiarité des personnes participantes par rapport à la rivière et les embâcles de glace qui s'y forment a grandement facilité l'intégration des connaissances. Cette familiarité a beaucoup contribué au processus d'intégration, alors que la connaissance de l'aléa est directement liée à l'expérience et la familiarité de l'aléa (Athimon *et al.*, 2016 ; Bullen et Miles, 2024 ; Elineau *et al.*, 2020 ; Hadlos *et al.*, 2022). La familiarité de l'aléa peut être favorisée par la fréquence d'occurrence de l'aléa, puisqu'elle renforce la mémoire attachée à l'expérience (Athimon *et al.*, 2016 ; Hadlos *et al.*, 2022). Le processus d'intégration des connaissances et son succès dépend donc énormément de la familiarité et l'expérience de la des personnes par rapport à l'aléa et de la capacité de la méthode à trouver les personnes détenant un système de connaissances expertes.

2.6.3 Cartographie intégratrice

Les résultats de la cartographie des zones inondables par embâcle de glace réalisée illustrent la force du processus intégratif à diminuer les incertitudes associées à la cartographie de l'aléa et les portées de l'approche d'intégration des connaissances.

En effet, la cartographie intégratrice des connaissances locales expertes et académiques révèle surtout des zones de convergences dans les secteurs I à V, dont les secteurs I et II où

il y a une plus grande convergence des connaissances (Figure 14). Quelques zones de complémentarité sont présentes dans des secteurs de champs agricoles qui sont seulement inondés par la modélisation hydraulique stochastique. Cette convergence et cette complémentarité permettent de combler certaines lacunes des connaissances académiques utilisées (valeurs d'épaisseurs du couvert de glace utilisées, type d'embâcle simulé et élévations des cicatrices glacielles) et de diminuer l'incertitude par rapport à la cartographie produite.

Toutefois, la divergence des connaissances ne peut pas y être évaluée. Premièrement, il demeure possible que certaines zones inondables par embâcle de glace n'aient pas été délimitées durant les entretiens. En effet, les personnes interrogées pouvaient être moins familières avec certains secteurs. Il est aussi possible que les personnes qui auraient pu délimiter ces secteurs comme étant inondables par embâcle de glace n'aient pas été rencontrées. Ensuite, les personnes répondantes n'ont pas été explicitement amenées à illustrer les secteurs où il n'y avait pas d'inondation par embâcle de glace pour évaluer où les informations divergent. Mais si une personne est certaine qu'un secteur n'a jamais été inondé, il reste possible qu'elle ne fût tout simplement pas là lors de l'inondation ou qu'elle n'en ait pas eu connaissance. Pour évaluer la divergence, il deviendrait difficile de distinguer où les connaissances divergent véritablement et où sont les « vraies » inondations. Dans cette optique, l'intention de ne pas hiérarchiser les connaissances dans le processus intégratif deviendrait irréalisable, puisque certaines connaissances seraient amenées à être valorisées au détriment des autres.

Le choix de numériser les connaissances tracées en préservant leurs formes a permis de s'y référer comme des connaissances qui détiennent leur propre contexte. Dans les cartographies intégratrices d'aléa(s), les connaissances locales sont souvent rassemblées ensembles pour être comparées avec les connaissances académiques afin de les valider, ou encore évaluer si la communauté connait bien le(s) risque(s) naturels dans son secteur (Bullen et Miles, 2024 ; Elineau *et al.*, 2020 ; Pagneux *et al.*, 2011 ; Vojinovic *et al.*, 2016). Or, dans le cadre du projet où l'objet d'étude est les embâcles de glaces et que chaque évènement

d’embâcle peut être considéré comme unique (Das & Lindenschmidt, 2021 ; Lindenschmidt, 2023), le choix d’évaluation des incertitudes est crucial, car il permet de relever les incertitudes de chaque élément délimité. De plus, l’utilisation des connaissances locales pour valider les connaissances académiques symboliserait un rapport de pouvoir inégal envers les connaissances locales, qui n’y seraient pas autant valorisées (Bwambale *et al.*, 2020 ; Hermans *et al.*, 2022). Au lieu d’effacer l’histoire de ces tracés en les mélangeant ensemble avec seule distinction le nombre de mention, notre approche d’intégration permet de mettre en valeur ces connaissances tout en préservant le contexte dans lequel elles ont été produites, grâce aux incertitudes identifiées pour chaque délimitation.

À cet égard, l’intégration de connaissances est une approche pour bonifier les méthodes plus largement utilisées dans le milieu académique pour cartographier les inondations par embâcles de glace. En effet, ces recherches peinent à évaluer les zones inondables par embâcles de glace en raison de la complexité et l’unicité de chaque évènement d’embâcle (Das et Lindenschmidt, 2021 ; Lindenschmidt, 2023). En rapprochant les différentes connaissances entre elles, tout en respectant les cadres méthodologiques et les systèmes de connaissances auxquels elles appartiennent dans l’intégration, l’approche permet de diminuer les incertitudes associées à la cartographie qui en résulte. Si les connaissances locales sont souvent considérées comme étant anecdotiques (Lane *et al.*, 2011 ; Mackinson, 2001), la valorisation de connaissances académiques aux dépends des connaissances locales dans la compréhension des inondations peut miner la confiance qu'une communauté accorde à son propre système de connaissances (Bouchard-Bastien et Doyon, 2022). L'approche d’intégration des connaissances développée dans cette recherche permet de cibler les connaissances locales expertes et de les mettre en valeur dans un processus qui se veut plus horizontal (Hermans *et al.*, 2022 ; Lane *et al.*, 2011 ; Raymond *et al.*, 2010 ; Tengö *et al.*, 2014). Il reste essentiel de souligner que la posture des personnes qui ont mené le processus intégratif peut avoir influencé cette horizontalité (Raymond *et al.*, 2010). Alors que certaines connaissances peuvent facilement être valorisées plus que d’autres à travers le processus, il importe de poser un regard critique sur notre posture à chaque étape (Raymond *et al.*, 2010 ; Tengö *et al.*, 2014). L'approche déployée et les résultats convergents et complémentaires qui

en émergent ouvrent la voie à une valorisation des connaissances locales dans la cartographie des inondations liées aux embâcles de glace.

Cependant, il importe de mentionner que la cartographie produite à travers de processus d'intégration ne signifie pas que la carte bénéficiera d'une acceptation sociale et qu'une telle utilisation pourrait être perçue comme manipulative (Cartier & Vallette, 2016 ; Massé *et al*., 2018). D'abord, cet objectif n'a pas été mentionné durant le recrutement des personnes participantes, ce qui entacherait leur consentement éclairé à participer selon les principes d'éthique en recherche avec des êtres humains (Ringuet, 2010). Ensuite, l'acceptabilité sociale n'a pas fait partie du processus d'intégration effectué, elle n'a donc pas été analysée selon des méthodes qui lui reviendraient (Cartier & Vallette, 2016 ; Rey-Valette *et al.*, 2019). Les personnes non enquêtées de la communauté pourraient ne pas reconnaître les connaissances compilées ou encore avoir leur propre système des connaissances, ce qui pourrait finalement miner la confiance de la communauté envers la cartographie produite (Santha *et al.*, 2014).

La cartographie peut en revanche servir de base à d'autres types d'intégration qui tendent vers des processus de co-construction des savoirs avec des communautés à risque face à un aléa naturel. Par exemple, une discussion autour de la cartographie intégratrice avec les personnes participantes pourrait permettre d'identifier des zones de divergence des connaissances dans les secteurs où les personnes seraient en désaccord avec certaines zones inondées par la modélisation ou les délimitations des entretiens. Ou encore, la cartographie pourrait permettre d'engager un dialogue plus large sur la manière dont les zones inondables par embâcle de glace sont définies, et sur les méthodes et connaissances à utiliser pour les déterminer.

2.7 CONCLUSION

Alors que l'étude et la cartographie des inondations par embâcles de glace demeurent moins définies, les savoirs académiques peinent à représenter la complexité et l'unicité des inondations par embâcle de glace. Le processus d'intégration des connaissances réalisé a

permis de recueillir les connaissances académiques et les connaissances locales expertes sur les inondations par embâcle de glace de la rivière Mitis et de les intégrer dans une cartographie des zones inondables par embâcle de glace. Ce processus d'intégration et la méthode développée contribuent à la réflexion sur la mise en application des approches intégratives pour répondre à une problématique environnementale, leurs portées et leurs défis, en ne se limitant pas aux résultats de l'intégration. En effet, la méthode de recrutement des personnes participantes a permis de cibler des personnes avec un système de connaissances locales expertes, dont la présence est grandement liée à une familiarité des embâcles de glace à Sainte-Angèle-de-Mérici. Les résultats illustrent majoritairement des zones de convergence des différentes connaissances, avec quelques zones de complémentarité. La cartographie intégratrice permet donc de combler les connaissances académiques et de diminuer les incertitudes liées à la délimitation des zones inondées par embâcle de glace. Toutefois, certaines améliorations pourraient être apportées à la méthode, surtout pour favoriser la participation des personnes riveraines. Le processus intégratif demande de la flexibilité, de la transparence et une analyse des systèmes de connaissances qui entrent en jeu. La cartographie intégratrice réalisée constitue un premier pas important pour entamer la discussion sur comment les zones inondables par embâcle de glace sont définies, sur quelles connaissances faut-il se baser pour les déterminer et quelle méthode devrait-on choisir pour réaliser la cartographie de cet aléa.

2.8 REMERCIEMENTS

L'équipe aimerait remercier la communauté de Sainte-Angèle-de-Mérici et les gestionnaires qui œuvrent auprès de la rivière Mitis, qui ont généreusement donné de leur temps. La confiance qui a été accordée à l'équipe pour le partage de leurs connaissances est très précieuse, nous en sommes très reconnaissantes et reconnaissant. Merci aux personnes qui ont aidé sur le terrain pour la prise de données, dont les discussions et les questions ont nourri les réflexions du projet. Merci à Sergio Croquer Perez qui a réalisé la modélisation stochastique et à Victoria Litalien qui a réalisé le traitement des données des cicatrices glacielles, un atout important pour l'intégration. Merci également au comité d'éthique de la

recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Rimouski qui a guidé les étapes à l'obtention du certificat d'éthique du projet.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les embâcles de glace sont des processus complexes, étant donné que les nombreuses variables responsables entrant en jeu dans leur formation vont influer une grande variabilité dans les types d'embâcles qui seront formés et les processus fluvios-glaciels associés. En parallèle, les augmentations rapides et de fortes magnitudes des niveaux d'eau que les embâcles de glace sont susceptibles d'engendrer peuvent mener à des épisodes d'inondations conséquents. La complexité et la variabilité des embâcles et des inondations liées demeurent difficile à intégrer dans la cartographie des zones inondables par embâcles de glace, un outil de gestion pourtant primordial à l'aménagement du territoire riverain et la planification et l'exécution de mesures d'urgence. Ce mémoire souligne l'apport de l'approche de l'intégration des connaissances académiques et locales expertes dans la compréhension d'un processus naturel tels que les embâcles de glace et dans la cartographie de l'aléa qu'ils engendrent (inondation).

En premier lieu, le processus intégratif a mené à une meilleure compréhension de la complexité et l'unicité des embâcles de glace de la rivière Mitis, dans leur spatialisation et leur temporalité. La spatialisation de la dynamique glacielle de la rivière Mitis est caractérisée par trois zones de production, transport et accumulation de glace et de frasil identifiées par les connaissances locales expertes et académiques. Quant à elle, la temporalité de la formation des embâcles de glace est associée à des conditions météorologiques particulières et une gestion du niveau de l'eau. Toutefois, la formation des embâcles sur la rivière Mitis est surtout due à la combinaison de causes naturelles d'après les connaissances locales expertes, soit la dynamique fluviale, la météorologie et les caractéristiques du couvert de glace.

En deuxième lieu, l'approche a permis de cartographier les zones inondables par embâcles de glace sur la rivière Mitis en intégrant des connaissances locales expertes et

académiques. Les résultats de cette cartographie illustrent majoritairement des zones de convergence des différentes connaissances, avec quelques zones de complémentarité. De plus, l'approche a permis d'explorer les limites et les portées de chaque connaissance, ce qui permet de diminuer les incertitudes liées à la délimitation des zones inondables par embâcles de glace.

D'autre part, le processus d'intégration et la méthode développée contribuent à la réflexion sur la mise en application des approches intégratives pour répondre à une problématique environnementale complexe ayant des spécificités locales, comme les embâcles de glace, leurs portées et leurs défis, en ne se limitant pas aux résultats de l'intégration. La complémentarité et la convergence des différentes connaissances dans les résultats sur la spatialité de la dynamique glacielle, les causes de formation d'embâcle de glace et la cartographie des inondation liées confirment la pertinence de cibler les personnes avec un système de connaissances locales expertes au début du processus intégratif. En ce sens, un des grands apports de la méthode développée est qu'elle permet de recruter et cibler des personnes avec un système de connaissances locales expertes. L'étendue de leur système de connaissances est grandement liée à une familiarité des embâcles de glace et des inondations liées à Sainte-Angèle-de-Mérici. Le succès de la méthode dépend donc en partie de la présence d'une familiarité des embâcles de glace et des inondations liées dans la communauté riveraine. De plus, certaines améliorations pourraient être apportées à la méthode, surtout pour favoriser la participation des personnes riveraines. Le processus intégratif réalisé a permis de mieux comprendre la complexité des embâcles de glace de la rivière Mitis et des inondations liées en évitant de hiérarchiser les connaissances, tout en respectant le système de connaissances qui leur est propre. Malgré la position cette recherche assez basse sur l'échelle d'intégration des connaissances, cette caractéristique lui a permis de s'inscrire plus facilement dans le cadre d'un projet de maîtrise et de sa temporalité, contrairement à un projet participatif (à l'autre extrémité du spectre), qui requiert davantage de temps et de ressources. Cette position lui a également permis d'être flexible et transparent tout au long du processus intégratif et de garder un regard réflexif et critique tout au long de son application, afin d'éviter la simple validation des connaissances académiques par les

connaissances locales. Sa principale limite pourrait résider dans la complexité de sa mise en application et la posture pluridisciplinaire qu'elle nécessite pour en assurer une intégration harmonieuse et respectueuse des différentes connaissances.

Bien que ce processus ne soit pas applicable dans n'importe quel contexte, son application dans le cadre de ce mémoire ouvre une réflexion vers quelles connaissances devraient être utilisées dans la compréhension de la complexité d'un phénomène naturel localisé et comment les connaissances locales pourraient y être davantage valorisées à leur juste valeur. D'ailleurs, la transposition de ce processus vers les politiques publiques et la gouvernance du risque mériterait une réflexion à part entière, alors que les savoirs des sciences naturelles y dominent et que peu de méthodes rigoureuses y sont établies et acceptées pour y intégrer les connaissances locales tout en respectant leurs systèmes de connaissances.

ANNEXES

ANNEXE I. AFFICHES DE RECRUTEMENT POUR LES PERSONNES RIVERAINES



UQAR Université du Québec à Rimouski

UDS Université de Sherbrooke

Participant(e)s recherché(e)s

Nous sommes présentement à la recherche de personnes adultes intéressées à participer à une étude portant sur l'intégration de connaissances de la communauté scientifique, de gestionnaires et de personnes riveraines pour la cartographie des inondations en lien avec les embâcles de glace.

Plus précisément, la participation à ce projet de recherche consiste à répondre à un questionnaire d'environ 30 min portant sur vos expériences et connaissances sur les embâcles de glace sur la rivière Mitis. Les résultats permettront d'enrichir la compréhension des inondations par embâcles de glace, en ayant une vision plus complète du phénomène.

Pour participer à cette recherche vous devez :

- Habiter à proximité de secteur où des embâcles de glace se sont déjà formés ou dans la vallée de la rivière Mitis
- OU avoir déjà été témoin de phénomènes reliés à la glace de rivière ou aux embâcles de glace sur la rivière Mitis
- OU avoir des connaissances sur les embâcles de glace et la glace de rivière sur la rivière Mitis

Si vous êtes intéressé(e) à participer à cette étude, vous pouvez accéder au questionnaire ainsi qu'à des informations supplémentaires sur le projet soit (option 1) en copiant sur ce lien [https://sondage.uqar.ca/index.php/263984?lang=fr], soit (option 2) en contactant directement Zoé Martineu :

- Par courriel : Zoe.Martineu@uqar.ca
- Par téléphone : 418 723-1986 poste 1677

Pour le projet de recherche intitulé : Valoriser les données émergentes sur le couvert de glace afin de mieux comprendre le régime de glace de rivière et les processus associés (inondations, évolution morphologique)

Responsables du projet :
Zoé Martineu (étudiante à la maîtrise à l'Université du Québec à Rimouski);
Thomas Buffin-Bélanger (professeur à l'Université du Québec à Rimouski);
Mélanie Trudel (professeure à l'Université de Sherbrooke);
Julie Ruiz (professeure à l'Université de Trois-Rivières).

Nous vous remercions de l'intérêt que vous portez à la recherche et espérons vous compter parmi nos participant(e)s! N'hésitez-pas à partager ces informations à d'autres personnes !

Approuvé le 2024-06-10 par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Rimouski (CER-UQAR). No de référence : 2025-540.



UQAR Université du Québec à Rimouski

UDS Université de Sherbrooke

Participant(e)s recherché(e)s

Nous sommes présentement à la recherche de personnes adultes intéressées à participer à une étude portant sur l'intégration de connaissances de la communauté scientifique, de gestionnaires et de personnes riveraines pour la cartographie des inondations en lien avec les embâcles de glace.

Plus précisément, la participation à ce projet de recherche consiste à répondre à un questionnaire d'environ 30 min portant sur vos expériences et connaissances sur les embâcles de glace sur la rivière Mitis. Les résultats permettront d'enrichir la compréhension des inondations par embâcles de glace, en ayant une vision plus complète du phénomène.

Pour participer à cette recherche vous devez :

- Habiter à proximité de secteur où des embâcles de glace se sont déjà formés ou dans la vallée de la rivière Mitis
- OU avoir déjà été témoin de phénomènes reliés à la glace de rivière ou aux embâcles de glace sur la rivière Mitis
- OU avoir des connaissances sur les embâcles de glace et la glace de rivière sur la rivière Mitis

Si vous êtes intéressé(e) à participer à cette étude, vous pouvez accéder au questionnaire ainsi qu'à des informations supplémentaires sur le projet soit (option 1) en scannant ce code QR, soit (option 2) en contactant directement Zoé Martineu :

- Par courriel : Zoe.Martineu@uqar.ca
- Par téléphone : 418 723-1986 poste 1677

Pour le projet de recherche intitulé : Valoriser les données émergentes sur le couvert de glace afin de mieux comprendre le régime de glace de rivière et les processus associés (inondations, évolution morphologique)

Responsables du projet :
Zoé Martineu (étudiante à la maîtrise à l'Université du Québec à Rimouski);
Thomas Buffin-Bélanger (professeur à l'Université du Québec à Rimouski);
Mélanie Trudel (professeure à l'Université de Sherbrooke);
Julie Ruiz (professeure à l'Université de Trois-Rivières).

Nous vous remercions de l'intérêt que vous portez à la recherche et espérons vous compter parmi nos participant(e)s! N'hésitez-pas à partager ces informations à d'autres personnes !

Approuvé le 2024-06-10 par le Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Rimouski (CER-UQAR). No de référence : 2025-540.

ANNEXE II QUESTIONNAIRE DESTINE AUX PERSONNES RIVERAINES

Questionnaire sur les embâcles de glace de la rivière Mitis.

1. *Quel est votre nom?*

_____

(Nom), (Prénom)

☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

2. *Dans quelle catégorie d'âge vous trouvez-vous?*

☐ 18-29 ans

☐ 30-44 ans

☐ 45-59 ans

☐ 60-74 ans

☐ 75 &+ ans

☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

3. *Quel est votre genre?*

☐ Féminin

☐ Masculin

☐ Autre

☐ Je ne sais pas/préfère ne pasrépondre

4. *Quels sont le ou les titres scolaires que vous avez obtenus?*

□ Diplôme du primaire

□ Diplôme du secondaire ou l'équivalent

□ Diplôme de formation professionnelle (DEP, ASP, AEP)

□ Diplôme d'études collégiales (DEC) ou attestation d'études collégiales (AEC)

□ Diplôme d'études universitaires de premier cycle (baccalauréat, certificat ou autre)

□ Diplôme d'études universitaires de deuxième cycle

□ Diplôme d'études universitaires de troisième cycle

□ Diplôme d'études postdoctorales

□ Autre : _____

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

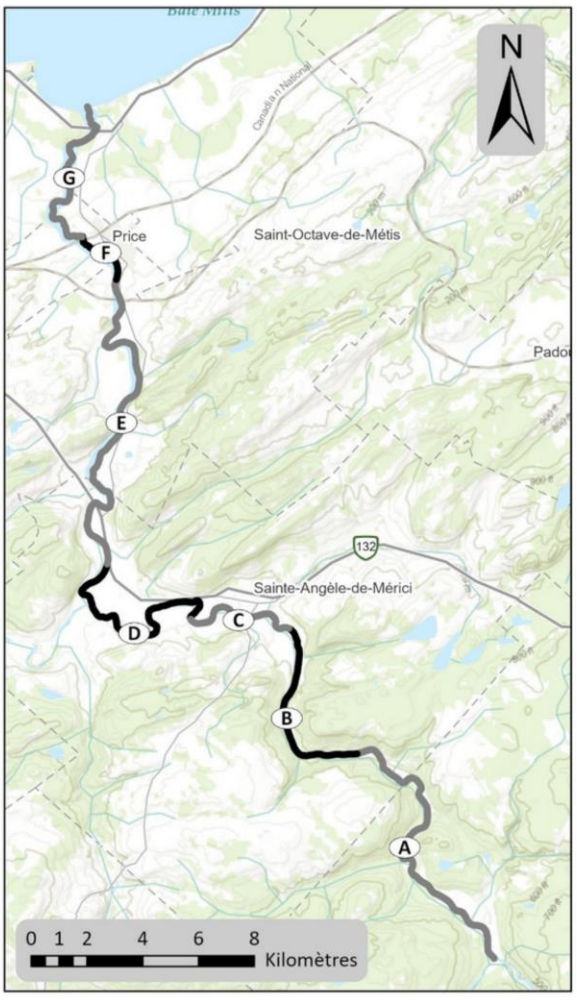
5. *Habitez-vous ou possédez-vous un terrain à proximité de la rivière Mitis?*

□ Oui

□ Non

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

5.1 (Si oui question 5) Dans quel secteur de la rivière Mitis votre terrain et/ou votre résidence se situe(nt) selon cette carte?



- ☐ A
- ☐ B
- ☐ C
- ☐ D
- ☐ E
- ☐ F
- ☐ G
- ☐ Autre
- ☐ Je ne sais pas/ préfère ne pas répondre

5.2 (Si oui question 5) Quel type de résidence possédez-vous en bordure de la rivière Mitis ?

- ☐ Résidence secondaire
- ☐ Résidence permanente
- ☐ Je n'ai pas de résidence sur ce terrain
- ☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

5.3 (Si oui question 5) Depuis combien de temps possédez-vous votre terrain et/ou y résidez-vous?

_____
(Nombre) ans

☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

5.4 (Si oui question 5) À quelle distance de la rivière Mitis considérez-vous que votre résidence ou votre terrain se trouve?

- ☐ 15 mètres et moins
- ☐ 15 à 30 mètres
- ☐ 30 mètres et plus
- ☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

6. *Considérez-vous que votre terrain et/ou votre résidence se situe(nt) dans une zone qui peut être inondée par la rivière Mitis?*

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Jene sais pas/préfère ne pas répondre

6.1 (Si oui question 6) À quelle fréquence?

- ☐ Plus d'une fois par deux ans
- ☐ Une fois par deux ans
- ☐ Une fois par cinq ans
- ☐ Une fois par 10 ans
- ☐ Une fois par 20 ans
- ☐ Une fois par 50 ans
- ☐ Une fois par 100 ans
- ☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

7. *Considérez-vous que votre terrain et/ou votre résidence se situe(nt) dans une zone de la rivière Mitis où des embâcles de glace se forment?*

- ☐ Oui
- ☐ Non
- ☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

7.1 (Si oui question 7) À quelle fréquence?

- ☐ Plus d'une fois par deux ans
- ☐ Une fois par deux ans
- ☐ Une fois par cinq ans
- ☐ Une fois par 10 ans
- ☐ Une fois par 20 ans
- ☐ Une fois par 50 ans
- ☐ Une fois par 100 ans
- ☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

8. *Décrivez-nous ce qu'est pour vous un embâcle de glace.*

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

9. *Quand est-ce que les embâcles de glace ont tendance à se former sur la rivière Mitis? Vous pouvez cocher plus d'une réponse.*

- □ À la suite d'une période de grand froid
- □ À la suite d'une tombée de neige sur la rivière
- □ À la suite d'un redoux hivernal (températures plus chaudes, pluie(s))
- □ À la suite d'une tempête de neige
- □ À la suite d'une tempête de verglas
- □ Durant les grandes pluies du printemps et/ou de l'automne
- □ Au début de l'hiver
- □ À la fin de l'hiver
- □ Autre : _____
- □ Jene sais pas/préfère ne pasrépondre

10. *Où est-ce que les embâcles de glace ont tendance à se former sur la rivière Mitis? Vous pouvez cocher plus d'une réponse.*

□ Là où la rivière s**'élargit**

□ Là où la rivière se **rétrécit**

□ Aux endroits où le cours d'eau est **droit**

□ Aux endroits où le cours d'eau est **croche** (ex. dans un méandre)

□ Aux endroits où il y a des **obstacles** (ponts, îles, etc.)

□ Aux endroits où il n'y a **pas** d'**obstacles** (ponts, îles, etc.)

□ Dans les zones de la rivière où l'eau **est plus** profonde

□ Dans les zones de la rivière où l'eau **est moins** profonde

□ Dans les **lacs**

□ Autre : _____

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

11. *Avez-vous déjà été témoin d'embâcle de glace et/ou de conséquences (s) d'embâcles(s) de glace sur la rivière Mitis même si cela ne s'est pas produit sur votre terrain?*

□ Oui

□ Non

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

11.1 *(Si oui question 11) Pouvez-vous nous le(s) décrire?*

_____

_____

_____

_____

_____

_____

11.2 *(Si oui question 11)* ***À quelle fréquence avez-vous été témoin d'embâcle de glace et/ou de conséquences (s) d'embâcles(s) de glace sur la rivière Mitis?***

- ☐ Plus d'une fois par deux ans
- ☐ Une fois par deux ans
- ☐ Une fois par cinq ans
- ☐ Une fois par 10 ans
- ☐ Une fois par 20 ans
- ☐ Une fois par 50 ans
- ☐ Seulement une fois dans ma vie
- ☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

12. *Comment qualifieriez-vous votre intérêt par rapport aux embâcles de glace?*

- ☐ Cela m'intéresse beaucoup
- ☐ Cela m'intéresse
- ☐ Cela ne m'intéresse pas vraiment
- ☐ Je n'ai pas d'intérêt
- ☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

13. *Comment en êtes-vous arrivé(e) à vous informer sur les embâcles de glace? Vous pouvez cocher plus d'une réponse.*

- ☐ Grâce à ce que j'ai vécu et observé
- ☐ Grâce à des articles de journaux
- ☐ Grâce aux médias sociaux
- ☐ Grâce à mon entourage
- ☐ Grâce aux archives
- ☐ Autre : _____
- ☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

14. *Vous considérez-vous assez informé(e) par rapport aux embâcles de glace?*

- ☐ Oui, beaucoup
- ☐ Oui, assez
- ☐ Oui, mais pas assez
- ☐ Non
- ☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

15. *Quelles connaissances et/ou informations souhaiteriez-vous avoir sur les embâcles?*

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

16. *Partagez-vous vos observations et connaissances des embâcles avec votre voisinage, vos ami.e.s, votre famille ou d'autres personnes ?*

□ Oui

□ Non

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

16.1 *(Si oui question 16)* ***À qui les partagez-vous?***

_____

_____

_____

_____

_____

17. *(Si oui question 16)* ***Sous quelle forme les partagez-vous? Vous pouvez cocher plus d'une réponse.***

□ Par des photos/vidéos

□ À l'oral

□ À l'écrit

□ Autre : _____

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

18. *Avez-vous des commentaires ou des observations par rapport au questionnaire ou au projet de recherche ?*

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Si vous avez déjà observé des embâcles sur la rivière Mitis et que vous avez accepté d'être contacté.e ultérieurement dans le formulaire de consentement, il se pourrait que Zoé Martineu, étudiante à la maîtrise à l'UQAR, sollicite votre participation pour une seconde étape de la recherche. Lors de cette seconde étape vous seriez amené.e à partager davantage vos connaissances sur les embâcles de glace de la rivière Mitis.

Votre collaboration est précieuse pour nous permettre de réaliser cette étude et nous vous remercions d'y avoir participé!

ANNEXE III. QUESTIONNAIRE DESTINE AUX GESTIONNAIRES

Questionnaire sur les embâcles de glace de la rivière Mitis.

1. *Quel est votre nom?*

_____

(Nom), (Prénom)

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

2. *Dans quelle catégorie d'âge vous trouvez-vous?*

□ 18-29 ans

□ 30-44 ans

□ 45-59 ans

□ 60-74 ans

□ 75 &+ ans

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

3. *Quel est votre genre?*

□ Féminin

□ Masculin

□ Autre

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

4. *Quels sont le ou les titres scolaires que vous avez obtenus?*

□ Diplôme du primaire

□ Diplôme du secondaire ou l'équivalent

□ Diplôme de formation professionnelle (DEP, ASP, AEP)

□ Diplôme d'études collégiales (DEC) ou attestation d'études collégiales (AEC)

□ Diplôme d'études universitaires de premier cycle (baccalauréat, certificat ou autre)

□ Diplôme d'études universitaires de deuxième cycle

□ Diplôme d'études universitaires de troisième cycle

□ Diplôme d'études postdoctorales

□ Autre : _____

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

5. *Pour quel organisme travaillez-vous?*

_____

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

6. *Pourriez-vous me décrire brièvement vos tâches professionnelles qui sont reliées aux embâcles de glace sur la Mitis?*

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

7. *Décrivez-nous ce qu'est pour vous un embâcle de glace.*

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

8. *Quand est-ce que les embâcles de glace ont tendance à se former sur la rivière Mitis? Vous pouvez cocher plus d'une réponse.*

- ☐ À la suite d'une période de grand froid
- ☐ À la suite d'une tombée de neige sur la rivière
- ☐ À la suite d'un redoux hivernal (températures plus chaudes, pluie(s))
- ☐ À la suite d'une tempête de neige
- ☐ À la suite d'une tempête de verglas
- ☐ Durant les grandes pluies du printemps et/ou de l'automne
- ☐ Au début de l'hiver
- ☐ À la fin de l'hiver
- ☐ Autre : _____
- ☐ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

9. *Où est-ce que les embâcles de glace ont tendance à se former sur la rivière Mitis?*

Vous pouvez cocher plus d'une réponse.

□ Là où la rivière s**'élargit**

□ Là où la rivière se **rétrécit**

□ Aux endroits où le cours d'eau est **droit**

□ Aux endroits où le cours d'eau est **croche** (ex. dans un méandre)

□ Aux endroits où il y a des **obstacles** (ponts, îles, etc.)

□ Aux endroits où il n'y a **pas** d'**obstacles** (ponts, îles, etc.)

□ Dans les zones de la rivière où l'eau **est plus** profonde

□ Dans les zones de la rivière où l'eau **est moins** profonde

□ Dans les **lacs**

□ Autre : _____

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

10. *Avez-vous déjà été témoin d'embâcle de glace et/ou de conséquences(s) d'embâcles(s) de glace sur la rivière Mitis?*

□ Oui

□ Non

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

10.1 *(Si oui question 10) Pouvez-vous nous le(s) décrire?*

_____

_____

_____

_____

_____

_____

10.2 *(Si oui question 10)* ***À quelle fréquence avez-vous été témoin d'embâcle de glace et/ou de conséquences (s) d'embâcles(s) de glace sur la rivière Mitis?***

□ Plus d'une fois par deux ans

□ Une fois par deux ans

□ Une fois par cinq ans

□ Une fois par 10 ans

□ Une fois par 20 ans

□ Une fois par 50 ans

□ Seulement une fois dans ma vie

□ Je ne sais pas/préfère ne pas répondre

11. *Avec qui collaborez-vous dans le cadre de votre travail concernant la gestion des embâcles?*

_____

_____

_____

_____

11.1 *(Si oui question 11)* *Parmi ces personnes, quelles seraient celles qui ont le plus de connaissances ou d'expérience concernant les embâcles de glace sur la rivière Mitis?*

_____

_____

_____

_____

_____

11.2 (Si oui question 11) Pourriez-vous me partager leurs coordonnées ou leur envoyer mon contact pour que je leur parle également? Si oui, quelles-sont leurs coordonnées/voici mes coordonnées : Par courriel (Zoe.Martineu@uqar.ca) ;(418 723-1986 poste 1677).

_____

_____

_____

_____

_____

Si vous avez déjà observé des embâcles sur la rivière Mitis et que vous avez accepté d'être contacté.e ultérieurement dans le formulaire de consentement, il se pourrait que Zoé Martineu, étudiante à la maîtrise à l'UQAR, sollicite votre participation pour une seconde étape de la recherche. Lors de cette seconde étape vous seriez amené.e à partager davantage vos connaissances sur les embâcles de glace de la rivière Mitis.

Votre collaboration est précieuse pour nous permettre de réaliser cette étude et nous vous remercions d'y avoir participé!

ANNEXE IV. CRITERES D'ANALYSE DETAILLES POUR CIBLER LES PERSONNES EXPERTES A PARTIR DES REPONSES DU QUESTIONNAIRE

Section	Question	Type de question	Critères d'analyse	Analyse quantitative	Analyse qualitative
Portrait de la personne	Dans quel secteur de la rivière Mitis votre terrain et/ou votre résidence se situe(nt)?	Choix de réponse	Lettre du tronçon		•
	Quel type de résidence possédez-vous en bordure de la rivière Mitis ?	Choix de réponse	Permanente ou secondaire		•
	Depuis combien de temps possédez-vous votre terrain et/ou y résidez-vous?	Question fermée	Catégorie de temps : 0-5 ans = récemment, 6-15 ans = peu longtemps, 16-25 ans = modérément longtemps, 26-35 ans = longtemps et 36-45 ans = très longtemps		•
	À quelle fréquence des embâcles de glace s'y forment?	Choix de réponse	Un point si une fréquence est choisie	•	
Étendue du système de connaissances	Décrivez-nous ce qu'est pour vous un embâcle de glace.	Question à développement	Un point par élément mentionné parmi ceux-ci : Accumulation, Type d'embâcle (frasil et/ou bloc), Référence à l'obstruction de l'écoulement de l'eau, l'obstruction de l'écoulement de la glace et/ou l'inondation	•	
	Quand est-ce que les embâcles de glace ont tendance à se former sur la rivière Mitis?	Choix de réponses	Un point par choix de réponse parmi ceux-ci : À la suite d'une période de grand froid, À la suite d'un redoux hivernal (températures plus chaudes, pluie(s)), Durant les grandes plus du printemps et/ou de l'automne, Au début de l'hiver, À la fin de l'hiver et Autre	•	
	Où est-ce que les embâcles de glace ont tendance à se former sur la rivière Mitis?	Choix de réponses	Un point par choix de réponse parmi ceux-ci : Là où la rivière se rétrécit, Aux endroits où le cours d'eau est croche (ex. dans un méandre), Aux endroits où il y a des obstacles (ponts, îles, etc.), Dans les zones de la rivière où l'eau est moins profonde et Autre	•	
Construction du système de connaissances	Pouvez-vous nous décrire le(s) évènement(s) d'embâcle de glace et/ou de conséquence(s) d'embâcle(s) de glace dont vous avez été témoin sur la rivière Mitis?	Question à développement	Un point pour une position spatiale sans altitude (x,y), deux points pour une position spatiale avec une altitude (x,y,z) et le(s) secteur(s) mentionné(s) pour l'évaluation qualitative	•	•
	À quelle fréquence avez-vous été témoin d'embâcle de glace et/ou de conséquence(s) d'embâcle(s) de glace sur la rivière Mitis?	Choix de réponse	Un point si une fréquence est choisie et la fréquence en question pour l'évaluation qualitative.	•	•
	Comment en êtes-vous arrivé(e) à vous informer sur les embâcles de glace?	Choix de réponses	Diversité des sources (vécu, entourage, médias, etc.) : un point par source	•	
Articulation et accessibilité	À qui les partagez-vous?	Question à développement	Diversité des types (ami.es, famille, voisin.es, municipalité, etc.) : un point par type	•	
	Sous quelle forme les partagez-vous?	Choix de réponses	Diversité des types (oral, photo/vidéos) : un point par type	•	

Les éléments en gris concernent les questions qui ont seulement été posées aux personnes riveraines

ANNEXE V. GUIDE D'ENTRETIEN DESTINE AUX PERSONNES RIVERAINES

GUIDE ENTRETIEN PERSONNES RIVERAINES

PRÉSENTATION

***Contexte** : Mon projet de maîtrise s'inscrit dans un plus gros projet de recherche interdisciplinaire sur la glace de rivière et les risques associés. Ce projet s'intitule* Valoriser les données émergentes sur le couvert de glace afin de mieux comprendre le régime de glace de rivière et les processus associés (inondations, évolution morphologique) *et représente un partenariat entre le milieu universitaire (Université de Sherbrooke, Université du Québec à Rimouski), le milieu municipal (ville de Sherbrooke, MRC de Coaticook et MRC du Haut-Saint-François) et un partenaire privé (JFSA inc.) sur trois rivières en Estrie présentant une problématique d'embâcle, en plus d'une rivière dans le Bas-Saint-Laurent : la rivière Mitis! Cet entretien sera réalisé aujourd'hui par moi, Zoé Martineu, étudiante à la maîtrise à l'Université du Québec à Rimouski. L'équipe de recherche est donc composée de Thomas Buffin-Bélanger (UQAR), Mélanie Trudel (USherbrooke), Julie Ruiz (UQTR) et moi-même.*

Présentation

Mon projet de maîtrise recherche à délimiter les zones inondables en lien avec les embâcles de glace par l'intégration de connaissances de scientifiques, de gestionnaires et de personnes riveraines. L'équipe de recherche utilisera vos connaissances pour les intégrer avec les connaissances scientifiques. Les résultats permettront d'enrichir la compréhension des inondations par embâcles de glace, en ayant une vision plus complète du phénomène.

Éthique du projet d'accompagnement

Je vais maintenant vous présenter le projet plus en détail en vous présentant également le formulaire de consentement qui a été préparé à cet effet. Avant de débuter je dois m'assurer que vous êtes à l'aise de participer à ma recherche et pour cela je dois vous présenter un document que l'on appelle le formulaire de consentement.

[Présentation du formulaire de consentement]

Maintenant, si vous êtes toujours d'accord avec votre participation au projet, je vous inviterais à me donner votre accord.

1. Êtes-vous d'accord à participer à la recherche?
2. Êtes-vous d'accord à ce que l'entretien soit enregistré ?
3. Je débute l'enregistrement.

Entretien

Notre discussion sera environ d'une heure trente (1h30) et se déroulera comme une conversation. Il n'y a pas de choix de réponses. Toutes les réponses sont bonnes : il n'y a pas de mauvaises réponses, car c'est ce que vous pensez, ce que vous avez observé qui est important. Si vous ne vous sentez pas à l'aise avec un thème ou avec le déroulement de la rencontre, n'hésitez pas à me le signaler. De plus, toutes vos réponses demeurent strictement confidentielles. À la fin de la rencontre, vous pourrez ajouter les informations que vous jugez pertinentes et que mes questions ne vous auraient pas permis d'aborder.

De plus, si après notre entretien vous pensez à des compléments de réponse, il vous sera possible de me les communiquer par courriel ou par téléphone. Avant de commencer, est-ce que vous avez des questions sur notre rencontre? Je vous remercie beaucoup de votre participation.

1. PORTRAIT

Pour commencer, je me demandais depuis quand habitez-vous à Saint-Angèle-de-Mérici?
Comment en êtes-vous venu.e à connaître les embâcles de glace de la rivière Mitis?

- [Relance] Cela fait combien de temps?

2. CARTOGRAPHIE ZONES INONDABLES + CONSÉQUENCES :

Étant donné que mon projet de maîtrise recherche à délimiter les zones inondables en lien avec les embâcles de glace, notre discussion d'aujourd'hui va se dérouler autour d'une carte.

J'aimerais qu'on localise vos connaissances sur la carte, c'est-à-dire qu'on les trace sur cette carte. J'ai trois crayons, chacun identifié selon des catégories : embâcle, inondation et gestion. Nous avons aussi des post-it et des collants pour vous permettre de préciser vos idées. Nous avons également un tableau blanc si vous voulez illustrer vos idées autrement. Je vais vous poser des questions tout au long de notre discussion pour vous guider, puis à la fin je prendrai des photos du résultat et je retranscrirai le tout une fois à mon bureau. Si jamais, je peux aussi écrire et dessiner pour vous selon vos indications, comme vous le voulez.

À la toute fin, si vous avez des choses que vous voudriez me montrer à l'extérieur par rapport aux embâcles de glace et les inondations reliées, je serai disponible aussi, ou nous pouvons prendre rendez-vous pour un autre moment.

Pour commencer, nous pouvons parler du dernier évènement d'embâcle de glace dont vous vous souvenez. **Pourriez-vous me montrer et tracer sur la carte où cet embâcle se trouvait**? [Proposer de l'aide adaptée (tracer à leur place selon leurs indications, les accompagner dans le traçage, etc.]

Y avait-il des **inondations** en lien avec cet embâcle?

- [Si oui] Pouvez-vous les tracer sur la carte?

À votre avis, **pourquoi est-ce que l'embâcle s'est formé**? [Mettre raisons sur post-it]

- [Relance] Pourquoi à **cet endroit** en particulier?
- [Relance] Est-ce que c'est en lien avec **des conditions météorologiques** en particulier?

Y a-t-il eu **d'autres conséquences** en lien avec cet embâcle que les inondations?

- Pouvez-vous les indiquer sur la carte à l'aide des collants? [Préciser avec post-it les idées]
- **Quelles traces** les embâcles ont-elles laissées sur le bord et autour de la rivière ?

Comment qualifieriez-vous **votre niveau de confiance** par rapport à vos connaissances sur cet embâcle?

- [Relance] Sur quoi basez-vous vos connaissances?

- [Relance] Qu'en est-il de votre niveau de confiance par rapport à votre localisation de l'embâcle?
- [Relance] Qu'en est-il de votre niveau de confiance par rapport à votre localisation des inondations causées par cet embâcle?
- [Relance] Qu'en est-il de votre niveau de confiance par rapport à votre localisation des conséquences causées par cet embâcle?

Avez-vous d'autres évènements d'embâcles en tête?

- [Si oui] Pourriez-vous m'en parler de la même façon ? [Relancer avec les questions plus haut]

[Si autres évènements en tête, relancer de la même façon]

2. CONNAISSANCES GÉNÉRALES SUR LA FORMATION DES EMBÂCLES :

Sinon, de façon générale, quelles sont les **causes de la formation des embâcles** sur la rivière ? [Proposer l'utilisation du tableau blanc]

- [Relance] Si vous deviez faire des prévisions de moments auxquels des embâcles peuvent se former, sur quoi est-ce que vous vous baseriez?
- [Relance] Dans quelle mesure la **météo** influence leur formation selon vos observations ?
- [Relance] À quels **endroits** particuliers se forment-ils sur la rivière?

Sous **quelles formes** prenez-vous des **informations ou des données** par rapport aux embâcles de glace?

- [Relance] Voudriez-vous me les montrer?

Dans quelle mesure **l'humain** avec les infrastructures, les maisons, etc. **influence-t-il la formation des embâcles de glace** sur la rivière Mitis selon-vos observations? [Proposer l'utilisation du tableau blanc]

- [Relance] Pouvez-vous m'expliquez ce qui vous fait dire que l'humain a une influence ? Qu'avez-vous observé proche de la rivière ?
- [Relance] Dans quelle mesure la **gestion** de la rivière peut **influencer** la formation des embâcles
- [Relance] **Quels changements** dans les embâcles de glace avez-vous observé et comment les expliquez-vous ?

3. TERRAIN

La discussion est presque terminée. Avant de nous quitter, j'aimerais savoir si vous avez d'autres éléments à ajouter au sujet des embâcles de glace. Si vous avez des questions supplémentaires sur la recherche, ils sont également les bienvenus.

Sachez que nous ferons parvenir aux personnes participantes qui le souhaitent un document résumant nos résultats de recherche, selon les informations du formulaire de consentement.
Pour finir, j'aimerais savoir s'il y a des **endroits où des choses que vous voudriez me montrer** proche de la rivière par rapport aux embâcles de glace et/ou les inondations qu'ils ont causées? Si oui :

- Quand est-ce que vous seriez disponibles? On pourrait aller voir cela ensemble!

ANNEXE VI. GUIDE D'ENTRETIEN DESTINE AUX GESTIONNAIRES

GUIDE ENTRETIEN GESTIONNAIRES

PRÉSENTATION

***Contexte** : Mon projet de maîtrise s'inscrit dans un plus gros projet de recherche interdisciplinaire sur la glace de rivière et les risques associés. Ce projet s'intitule Valoriser les données émergentes sur le couvert de glace afin de mieux comprendre le régime de glace de rivière et les processus associés (inondations, évolution morphologique) et représente un partenariat entre le milieu universitaire (Université de Sherbrooke, Université du Québec à Rimouski), le milieu municipal (ville de Sherbrooke, MRC de Coaticook et MRC du Haut-Saint-François) et un partenaire privé (JFSA inc.) sur trois rivières en Estrie présentant une problématique d'embâcle, en plus d'une rivière dans le Bas-Saint-Laurent : la rivière Mitis! Cet entretien sera réalisé aujourd'hui par moi, Zoé Martineu, étudiante à la maîtrise à l'Université du Québec à Rimouski. L'équipe de recherche est donc composée de Thomas Buffin-Bélanger (UQAR), Mélanie Trudel (USherbrooke), Julie Ruiz (UQTR) et moi-même.*

Présentation

Mon projet de maîtrise cherche à délimiter les zones inondables en lien avec les embâcles de glace par l'intégration de connaissances de scientifiques, de gestionnaires et de personnes riveraines. L'équipe de recherche utilisera vos connaissances pour les intégrer avec les connaissances scientifiques. Les résultats permettront d'enrichir la compréhension des inondations par embâcles de glace, en ayant une vision plus complète du phénomène.

Éthique du projet d'accompagnement

Je vais maintenant vous présenter le projet plus en détail en vous présentant également le formulaire de consentement qui a été préparé à cet effet.
Maintenant, si vous êtes toujours d'accord avec votre participation au projet, je vous inviterais à me donner votre accord.

1. Êtes-vous d'accord à ce que l'entretien soit enregistré
2. Je débute l'enregistrement: êtes-vous d'accord à participer à la recherche

Entretien

Notre discussion sera environ d'une heure trente (1h30) et se déroulera comme une conversation. Il n'y a pas de choix de réponses. Toutes les réponses sont bonnes : il n'y a pas de mauvaises réponses, car c'est ce que vous pensez, ce que vous avez observé et ce que vous savez qui est important. Si vous ne vous sentez pas à l'aise avec un thème ou avec le déroulement de la rencontre, n'hésitez pas à me le signaler. De plus, toutes vos réponses demeurent strictement confidentielles. À la fin de la rencontre, vous pourrez ajouter les informations que vous jugez pertinentes et que mes questions ne vous auraient pas permis d'aborder.

De plus, si après notre entretien vous pensez à des compléments de réponse, il vous sera possible de me les communiquer par courriel ou par téléphone. Avant de commencer, est-ce que vous avez des questions sur notre rencontre? Je vous remercie beaucoup de votre participation.

1. PORTRAIT

Je voulais faire un entretien avec vous aujourd'hui à titre de ___(poste)___ pour discuter de vos connaissances sur les embâcles de glace sur la rivière Mitis. Mais avant de rentrer dans le vif du sujet, j'aimerais en apprendre plus sur votre travail. Donc pour commencer, pouvez-vous me décrire brièvement votre poste et votre rôle au sein de votre organisme?

- Depuis quand avez-vous ce poste?
- Quelles-sont vos tâches reliées avec les embâcles de glace?
- Avec qui travaillez-vous en ce qui concerne les embâcles?
- [Relance] Avec quels organismes en particulier?

Est-ce la première fois que vous avez un emploi qui est relié à la glace de rivière, aux embâcles de glace et aux inondations causées par les embâcles?

- [Relance] Si non, parlez-moi de cette autre expérience.

2. CARTOGRAPHIE ZONES INONDABLES + CONSÉQUENCES :

Étant donné que mon projet de maîtrise recherche à délimiter les zones inondables en lien avec les embâcles de glace, notre discussion d'aujourd'hui va maintenant se centrer autour de la cartographie.

J'aimerais qu'on cartographie vos connaissances, c'est-à-dire qu'on les trace sur cette carte. J'ai trois crayons, chacun identifié selon des catégories : embâcle, inondation et gestion. Nous avons aussi des post-it et des collants pour vous permettre de préciser vos idées. Nous avons également un tableau blanc si vous voulez illustrer vos idées autrement. Je vais vous poser des questions tout au long de notre discussion pour vous guider, puis à la fin je prendrai des photos du résultat et je retranscrirai le tout une fois à mon bureau. Si jamais, je peux aussi écrire et dessiner pour vous selon vos indications, comme vous le voulez.

À la tout fin, si vous avez des choses que vous voudriez me montrer à l'extérieur par rapport aux embâcles de glace et les inondations reliées, je serai disponible aussi, ou nous pouvons prendre rendez-vous pour un autre moment.

Pour commencer, nous pouvons parler du dernier évènement d'embâcle de glace que vous avez dû gérer. Pourriez-vous me montrer et tracer sur la carte où cet embâcle se trouvait? [Proposer de l'aide adaptée (tracer à leur place selon leurs indications, les accompagner dans le traçage, etc.]

Y avait-il **des inondations** en lien avec cet embâcle?

- [Si oui] Pouvez-vous les tracer sur la carte?

Pourquoi est-ce que l'embâcle s'est formé? [Mettre raisons sur post-it]

- [Relance] Pourquoi à **cet endroit** en particulier?
- [Relance] Quelle a été le rôle des **conditions météorologiques**?

Y a-t-il eu **d'autres conséquences** en lien avec cet embâcle que les inondations?

- Pouvez-vous les indiquer sur la carte à l'aide des collants? [Préciser avec post-it les idées]
- **Quelles traces** les embâcles ont-elles laissées sur le bord et autour de la rivière ?

Ces informations sont **basées sur quoi**, est-ce qu'il y a des **incertitudes/certitudes** associées?

- [Relance] Quelles sont vos incertitudes liées à la localisation de l'embâcle?
- [Relance] Quelles sont vos incertitudes liées à la localisation des inondations causées par cet embâcle?
- [Relance] Quelles sont vos incertitudes liées à la localisation des conséquences causées par cet embâcle?

Avez-vous d'autres évènements d'embâcles en tête?

- [Si oui] Pourriez-vous m'en parler de la même façon ? [Relancer avec les questions plus haut]

[Si autres évènements en tête, relancer de la même façon]

3. CONNAISSANCES GÉNÉRALES SUR LA FORMATION DES EMBÂCLES :

Sinon, de façon générale, quelles sont les **causes de la formation des embâcles sur la rivière ?** [Proposer l'utilisation du tableau blanc]

- [Relance] Si vous deviez faire des prévisions de moments auxquels des embâcles peuvent se former, sur quoi est-ce que vous vous baseriez?
- [Relance] Dans quelle mesure la **météo** influence leur formation selon vos observations ?
- [Relance] À quels **endroits particuliers** se forment-ils sur la rivière?
- [Relance] Qu'est-ce qui **contribue** à la formation des embâcles?

Sous **quelles formes** prenez-vous **des informations ou des données** par rapport aux embâcles de glace?

- [Relance] Voudriez-vous me les montrer?

Dans quelle mesure **l'humain** avec les infrastructures, les maisons, etc. **influence-t-il la formation des embâcles de glace** sur la rivière Mitis selon-vos observations? [Proposer l'utilisation du tableau blanc]

- [Relance] Pouvez-vous m'expliquez ce qui vous fait dire que l'humain a une influence ? Qu'avez-vous observé proche de la rivière ?
- [Relance] Dans quelle mesure la **gestion** de la rivière peut **influencer** la formation des embâcles
- [Relance] **Quels changements** dans les embâcles de glace avez-vous observé et comment les expliquez-vous ?

5. TERRAIN

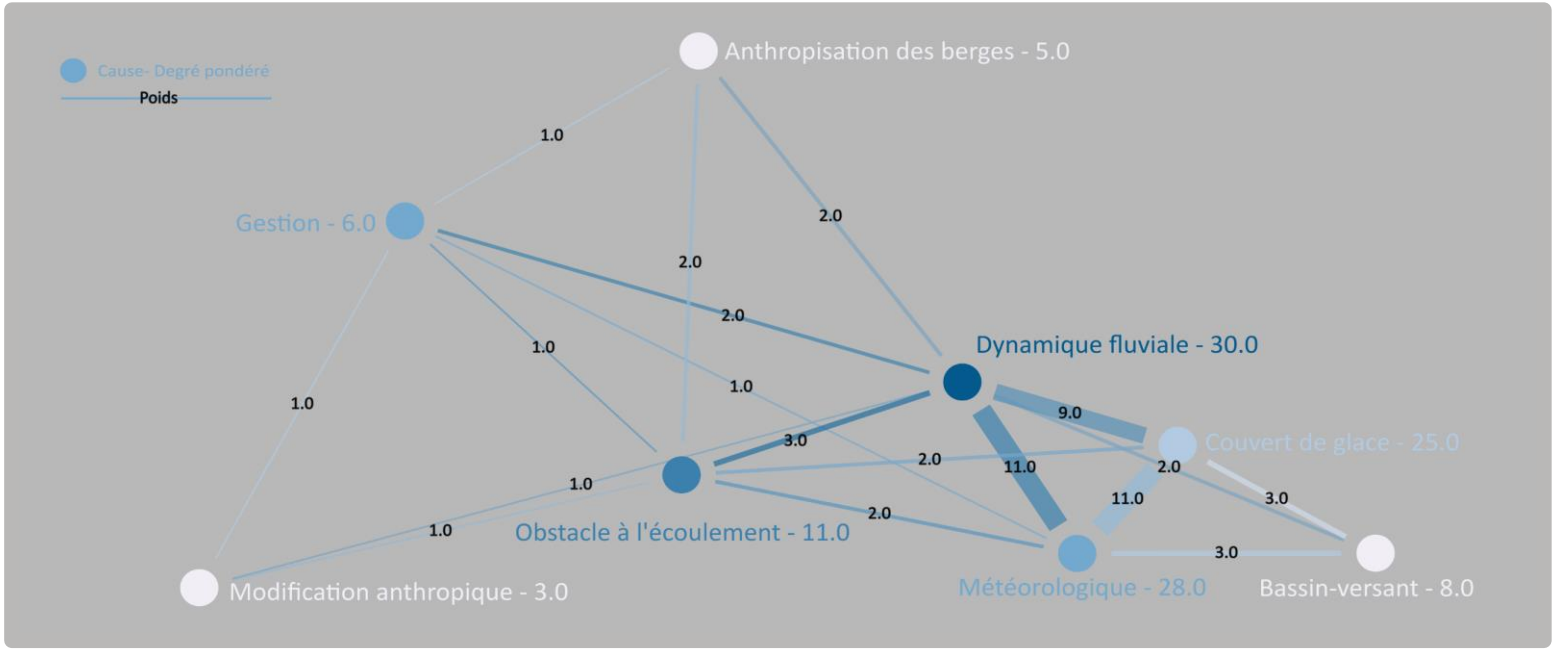
La discussion est presque terminée. Avant de nous quitter, j'aimerais savoir si vous avez d'autres éléments à ajouter au sujet des embâcles de glace. Si vous avez des commentaires supplémentaires sur la recherche, ils sont également les bienvenus.

Sachez que nous ferons parvenir aux personnes participantes qui le souhaitent un document résumant nos résultats de recherche, selon les informations du formulaire de consentement.
Pour finir, j'aimerais savoir si vous aviez **des endroits où des choses que vous voudriez me montrer** sur le terrain par rapport aux embâcles de glace et/ou les inondations reliées? Si oui :

- Quand est-ce que vous seriez disponibles? On pourrait aller voir cela ensemble!

ANNEXE VII. SPATIALISATION DES LIENS ENTRE LES CAUSES

La couleur des causes (nœuds) est en fonction de leur degré pondéré, alors que la taille des nœuds est unique pour toutes les causes. La couleurs et l'épaisseur des liens entre les causes (nœuds) est en fonction du poids des liens (écrits en noir sur la figure). La figure a été produite avec le logiciel *Gephi 0.10.1* avec l'algorithme Force Atlas.



ANNEXE VIII. CERTIFICAT D'ETHIQUE ET SON RENOUVELEMENT

UQAR

Le 24 février 2026

RENOUVELLEMENT DE L'APPROBATION ÉTHIQUE

La présente atteste que le projet de recherche décrit ci-dessous a fait l'objet d'un renouvellement de l'approbation éthique émise par le CER-UQAR et qu'il satisfait aux exigences de la politique de l'Université du Québec à Rimouski en matière d'éthique de la recherche avec des êtres humains.

Projet # : 2025-540

Titre du projet de recherche: Valoriser les données émergentes sur le couvert de glace afin de mieux comprendre le régime de glace de rivière et les processus associés (inondations, évolution morphologique)

Chercheur principal à l'UQAR
Thomas Buffin-Bélanger,
Département de biologie, chimie et géographie

Cochercheur(s)
En provenance de l'UQAR ou de l'externe: Mélanie Trudel; Julie Ruiz; Zoé Martineu

Financement : Externe

Date de l'approbation éthique initiale du projet : 10 juin 2024

Date du prochain renouvellement : 10 juin 2026.
N.B. Un rappel automatique vous sera envoyé par courriel quelques semaines avant l'échéance de votre certificat afin de remplir le formulaire F7 - Renouvellement annuel.

- *Si votre projet se termine avant la date du prochain renouvellement, vous devrez remplir le formulaire* ***F9 - Fin de projet*** *.*
- *Si des modifications sont apportées à votre projet avant l'échéance du certificat, vous devrez remplir le formulaire* ***F8 - Modification de projet****.*
- *Tout nouveau membre de votre équipe de recherche devra être déclaré au CER-UQAR lors de votre prochaine demande de renouvellement ou lors de la fin de votre projet si le renouvellement n'est pas requis. ATTENTION: Vous devez faire signer une déclaration d'honneur aux personnes ayant accès aux participants (ou à des données nominatives sur les participants) et la conserver dans vos dossiers de recherche.*
- Si vous avez des cochercheurs dans d'autres universités, veuillez leur transmettre ce certificat.

Janie Bérubé, Ph. D.
Présidente du Comité d'éthique de la recherche (CER-UQAR)
Professeure à l'Unité départementale des sciences de la gestion

CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Rimouski (CER-UQAR), certifie, conjointement avec la personne titulaire de ce certificat, que le présent projet de recherche prévoit que les êtres humains qui y participent seront traités conformément aux principes de l'Énoncé de politique des trois Conseils : Éthique de la recherche avec des êtres humains ainsi qu'aux normes et principes en vigueur dans la Politique d'éthique avec les êtres humains de l'UQAR (C2-D32).

Projet # : 2025-540

Titre du projet de recherche : Valoriser les données émergentes sur le couvert de glace afin de mieux comprendre le régime de glace de rivière et les processus associés (inondations, évolution morphologique)

Chercheur principal à l'UQAR
Thomas Buffin-Bélanger,
Département de biologie, chimie et géographie

Cohercheur(s)
En provenance de l'UQAR: Zoé Martineu
En provenance de l'externe: Mélanie Trudel; Julie Ruiz; Catherine Frizzle

Financement : Externe

Date d'approbation du projet : 10 juin 2024
Date d'entrée en vigueur du certificat : 10 juin 2024
Date d'échéance du certificat : 10 juin 2025
N.B. Un rappel automatique vous sera envoyé par courriel quelques semaines avant l'échéance de votre certificat afin de remplir le formulaire F7 - Renouvellement annuel.

- Si votre projet se termine avant la date du prochain renouvellement, veuillez remplir le formulaire ***F9 - Fin de projet***.
- Si des modifications sont apportées à votre projet avant l'échéance du certificat, veuillez remplir le formulaire ***F8 - Modification de projet***.
- Tout nouveau membre de votre équipe de recherche devra être déclaré au CER-UQAR lors de votre prochaine demande de renouvellement ou lors de la fin de votre projet si le renouvellement n'est pas requis. ATTENTION: Vous devez faire signer une déclaration d'honneur aux personnes ayant accès aux participants (ou à des données nominatives sur les participants) et la conserver dans vos dossiers de recherche.

Janie Bérubé

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Allard, G. (2010). *Dynamique fluvio-glacielle : étude de cas d'une fosse-à-frasil, Rivière Mitis, Bas-Saint-Laurent* [Mémoire de maitrise, Université du Québec à Rimouski].

Allard, G., Buffin-Bélanger, T. et Bergeron, N. (2011). Analysis of frazil ice as a geomorphic agent in a frazil pool. *River Research and Applications*, *27*(9), 1136-1148. https://doi.org/10.1002/rra.1490

Apetrei, C. I., Caniglia, G., von Wehrden, H. et Lang, D. J. (2021). Just another buzzword? A systematic literature review of knowledge-related concepts in sustainability science. *Global Environmental Change*, *68*, 102222. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102222

Arnstein, S. R. (1969). A Ladder Of Citizen Participation. *Journal of the American Institute of Planners*, *35*(4), 216-224. https://doi.org/10.1080/01944366908977225

Arsenault-Boucher, L., Kinnard, C., Boucher, É. et Martin, C. (2025). Hydroclimate influences ice jam dynamics in southern Quebec watersheds through competing effects on ice cover resistance and dislocation forces. *Natural Hazards*, 1-33. https://doi.org/10.1007/s11069-024-07078-y

Ashton, G. D. (2011). River and lake ice thickening, thinning, and snow ice formation. *Cold Regions Science and Technology*, *68*(1), 3-19. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2011.05.004

Athimon, E., Maanan, M., Sauzeau, T. et Sarrazin, J.-L. (2016). Vulnérabilité et adaptation des sociétés littorales aux aléas météo-marins entre Guérande et l'île de Ré, France (XIVe - XVIIIe siècle). *VertigO*, *16-3*. https://doi.org/10.4000/vertigo.17927

Barrette, P. D. (2021). Understanding frazil ice: The contribution of laboratory studies. *Cold Regions Science and Technology*, *189*, 103334. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2021.103334

Barrette, P. D. et Lindenschmidt, K.-E. (2023). Frazil ice events: Assessing what to expect in the future. *Hydrology Research*, *54*(6), 770-781. https://doi.org/10.2166/nh.2023.008

Beltaos, S. (1995). *River Ice Jams*. Water Resources Publications, LLC.

Beltaos, S. (2002). Effects of climate on mid-winter ice jams. *Hydrological Processes*, *16*(4), 789-804. https://doi.org/10.1002/hyp.370

Beltaos, S. (2008a). Hydro-climatic impacts on the ice cover of the lower Peace River. *Hydrological Processes*, *22*(17), 3252-3263. https://doi.org/10.1002/hyp.6911

Beltaos, S. (2008b). *River ice breakup*. Water Resources Publications, LLC.

Beltaos, S. (2010). Internal strength properties of river ice jams. *Cold Regions Science and Technology*, *62*(2), 83-91. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2010.03.006

Beltaos, S. (2013a). Freezeup jamming and formation of ice cover. Dans *River ice Formation. Committee on River Ice Processes and the Environment, Canadian Geophysical Union, Hydrology Section: Edmonton, AB, Canada* (p. 181-256).

Beltaos, S. (2013b). Hydrodynamic characteristics and effects of river waves caused by ice jam releases. *Cold Regions Science and Technology*, *85*, 42-55. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2012.08.003

Beltaos, S. (2015). Significance of javes in transporting suspended sediment during river ice breakup. Dans *Proceedings of the 18th CHU-HS CRIPE Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers, Quebec City, QC, Canada* (p. 18-20).

Beltaos, S. (2017). Hydrodynamics of storage release during river ice breakup. *Cold Regions Science and Technology*, *139*, 36-50. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.04.009

Beltaos, S. (2021). Assessing the Frequency of Floods in Ice-Covered Rivers under a Changing Climate: Review of Methodology. *Geosciences*, *11*(12). https://doi.org/10.3390/geosciences11120514

Beltaos, S. (2023). Resistance of river ice covers to mobilization and implications for breakup progression in Peace River, Canada. *Hydrological Processes*, *37*(3), e14850. https://doi.org/10.1002/hyp.14850

Beltaos, S. et Bonsal, B. (2021). Climate change impacts on Peace River ice thickness and implications to ice-jam flooding of Peace-Athabasca Delta, Canada. *Cold Regions Science and Technology*, *186*, 103279. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2021.103279

Beltaos, S. et Prowse, T. (2009). River-ice hydrology in a shrinking cryosphere. *Hydrological Processes*, *23*(1), 122-144. https://doi.org/10.1002/hyp.7165

Benacchio, V. (2017). *Etude par imagerie in situ des processus biophysiques en milieu fluvial* [Thèse de doctorat, Université de Lyon]. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01619134/document

Bergeron, N. E., Buffin-Bélanger, T. et Dubé, J. (2011). Conceptual model of river ice types and dynamics along sedimentary links. *River Research and Applications*, *27*(9), 1159-1167. https://doi.org/10.1002/rra.1479

Bérubé, J. (2014). *Étude de la dynamique de barrages suspendus dans une transition fluviale, rivière Mitis, Bas-Saint-Laurent.* [Mémoire de maitrise, Université du Québec à Rimouski]. http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.31303.24488

Bérubé, J., Buffin-Belanger, T. et Boucher, E. (2015). Evolution of hanging dams in the Mitis River, Quebec (Canada). Proceedings of the 18th CHU-HS CRIPE Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers, Quebec City, QC, Canada.

Besnard, C. (2016). *Application et développement de l'approche hydrogéomorphologique aux plaines alluviales du Québec méridional* [Mémoire de maitrise, Université du Québec à Rimouski].

Biron, P. M., Buffin-Bélanger, T. et Martel, N. (2018). Mixing processes at an ice-covered river confluence. *E3S Web of Conferences*, *40*, 05037. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184005037

Biron, P. M., Buffin-Bélanger, T. et Martel, N. (2019). Three-dimensional turbulent structures at a medium-sized confluence with and without an ice cover. *Earth Surface Processes and Landforms*, *44*(15), 3042-3056. https://doi.org/10.1002/esp.4718

Blackburn, J. et She, Y. (2019). A comprehensive public-domain river ice process model and its application to a complex natural river. *Cold Regions Science and Technology*, *163*, 44-58. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2019.04.010

Bouchard-Bastien, E. et Doyon, S. (2022). Mémoire du risque et autonomisation comme facteurs d'adaptation dans un contexte d'inondations récurrentes. Dans T. Buffin-Belanger, D. Maltais et M. Gauthier, *Les inondations au Québec : risques, aménagement du territoire, impacts socioéconomiques et transformation des vulnérabilités* (p. 411-428). Presse de l'Université du Québec.

Boucher, É., Bégin, Y. et Arseneault, D. (2009a). Hydro-climatic analysis of mechanical breakups reconstructed from tree-rings, Necopastic watershed, northern Québec, Canada. *Journal of Hydrology*, *375*(3-4), 373-382. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.027

Boucher, É., Bégin, Y. et Arseneault, D. (2009b). Impacts of recurring ice jams on channel geometry and geomorphology in a small high-boreal watershed. *Geomorphology*, *108*(3-4), 273-281. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.02.014

Boucher, E., Bégin, Y., Arseneault, D. et Ouarda, T. B. M. J. (2012). Long-Term and Large-Scale River-Ice Processes in Cold-Region Watersheds. Dans M. Church, P. M. Biron et A. G. Roy (dir.), *Gravel-Bed Rivers* (1re éd., p. 546-554). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119952497.ch39

Bullen, J. et Miles, A. (2024). Exploring local perspectives on flood risk: A participatory GIS approach for bridging the gap between modelled and perceived flood risk zones. *Applied Geography*, *163*, 103176. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2023.103176

Burrell, B. C., Beltaos, S. et Turcotte, B. (2022). Effects of climate change on river-ice processes and ice jams. *International Journal of River Basin Management*, *21*(3), 421-441. https://doi.org/10.1080/15715124.2021.2007936

Bwambale, B., Nyeko, M., Muhumuza, M. et Kervyn, M. (2020). Questioning knowledge foundation: What is the best way to integrate knowledge to achieve substantial disaster risk reduction? *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *51*, 101850. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101850

Bwambale, B., Nyeko, M., Sekajugo, J. et Kervyn, M. (2022). The essential contribution of indigenous knowledge to understanding natural hazards and disaster risk: historical evidence from the Rwenzori (Uganda). *Natural Hazards*, *110*(3), 1847-1867. https://doi.org/10.1007/s11069-021-05015-x

Callon, M. (1999). The Role of Lay People in the Production and Dissemination of Scientific Knowledge. *Science, Technology and Society*, *4*(1), 81-94. https://doi.org/10.1177/097172189900400106

Cartier, S. et Vallette, C. (2016). Parasismique, oser éprouver l'acceptabilité sociale. *[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement*, *16*(1). https://www.erudit.org/en/journals/vertigo/2016-v16-n1-vertigo02678/1037571ar/

Chen, Y. et She, Y. (2020). Long-term variations of river ice breakup timing across Canada and its response to climate change. *Cold Regions Science and Technology*, *176*, 103091. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103091

Cheung, W., Houston, D., Schubert, J. E., Basolo, V., Feldman, D., Matthew, R., Sanders, B. F., Karlin, B., Goodrich, K. A., Contreras, S. L. et Luke, A. (2016). Integrating resident digital sketch maps with expert knowledge to assess spatial knowledge of flood risk: A case study of participatory mapping in Newport Beach, California. *Applied Geography*, *74*, 56-64. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.07.006

Croquer Perez, S., Pruneau, A., Litalien, V., Martineu, Z., Lacey, J., Biron, P., Buffin-Bélanger, T. et Trudel, M. (2026, février). *Rapport Final : Développement d'une méthodologie de caractérisation, de cartographie et d'identification de mesures de résilience pour les communautés aux prises avec des inondations par embâcles de glace* [Pour le Ministère des affaires municipales et de l'Habitation (MAMH)]. Université de Sherbrooke.

Daly, S. F. (2013). Frazil ice. Dans *River ice Formation.* (p. 107-134). Committee on River Ice Processes and the Environment and Hydrology Section of the Canadian Geophysical Union.

Das, A., Budhathoki, S. et 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. et 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

Das, A., Rokaya, P. et Lindenschmidt, K.-E. (2020). Ice-Jam Flood Risk Assessment and Hazard Mapping under Future Climate. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *146*(6), 04020029. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001178

De Coste, M., Li, Z. et Dibike, Y. (2022). Assessing and predicting the severity of mid-winter breakups based on Canada-wide river ice data. *Journal of Hydrology*, *607*, 127550. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127550

De Munck, S., Gauthier, Y., Bernier, M., Chokmani, K. et 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

de Rham, L., Dibike, Y., Beltaos, S., Peters, D., Bonsal, B. et Prowse, T. (2020). A Canadian River Ice Database from the National Hydrometric Program Archives. *Earth System Science Data*, *12*(3), 1835-1860. https://doi.org/10.5194/essd-12-1835-2020

Dufour, S. (2015). Sur la proposition d'une géographie physique critique. *L'Information géographique*, *79*(3), 8-16. https://doi.org/10.3917/lig.793.0008

Duguay, J., Biron, P. M. et Buffin-Bélanger, T. (2021). Large-scale turbulent mixing at a mesoscale confluence assessed through drone imagery and eddy-resolved modelling. *Earth Surface Processes and Landforms*. https://doi.org/10.1002/esp.5251

Duguay, J., Lindenschmidt, K.-E., Trudel, M. et 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

Duguay, J., Trudel, M., Lacey, J., Litalien, V., Fouquet, M., Buffin-Bélanger, T. et Lavallée, S. L. (2025). A proposed methodology to map ice-jam flood hazards in Quebec. 23rd Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers, CGU HS Committee on River Ice Processes and the Environment.

Dumont, F. et Buffin-Bélanger, T. (2022). Portrait des risques liés aux inondations dans les bassins versants des rivières Mitis et Coaticook à partir des données d'aide financière versée à la suite d'inondations depuis 1990. Dans *Les inondations au Québec* (Buffin-Bélanger, T., Maltais, D., Gauthier, M., p. 131-150). Presses de l'Université du Québec.

Elineau, S., Longépée, E., Goeldner-Gianella, L., Nicolae-Lerma, A., Durand, P. et Anselme, B. (2020). Understanding coastal flood risk prevention by combining modelling and sketch maps (Mediterranean coast, France). *Environmental Hazards*, *20*(5), 457-476. https://doi.org/10.1080/17477891.2020.1840329

Ellard-Gray, A., Jeffrey, N. K., Choubak, M. et 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

Ettema, R. et Kempema, E. W. (2012). River-Ice Effects on Gravel-Bed Channels. Dans *Gravel-Bed Rivers* (p. 523-540). John Wiley & Sons, Ltd. https://doi.org/10.1002/9781119952497.ch37

Gagnon, C. A. et Berteaux, D. (2009). Integrating Traditional Ecological Knowledge and Ecological Science: a Question of Scale. *Ecology and Society*, *14*(2), art19. https://doi.org/10.5751/ES-02923-140219

Gaudette, M. et Germain, D. (2026). Flood risk and land-use governance in Quebec, Canada: Fifty years of crises and institutional reform. *Environmental Science & Policy*, *175*, 104295. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104295

Gerard, R. (1981). Ice scars: are they reliable indicators of past ice breakup water levels? Dans *Proceedings of the 6th International Association for Hydraulic Research International Symposium on Ice* (p. 847-859).

Ghobrial, T., Pelchat, G. et Morse, B. (2023). A comprehensive field investigation of the dynamic break-up processes on the Chaudière River, Quebec, Canada. *Hydrology Research*, *54*(7), 797-817. https://doi.org/10.2166/nh.2023.137

Gholamreza-Kashi, S. (2016). A forecasting methodology for predicting frazil ice flooding along urban streams using hydro-meteorological data. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *43*(8), 716-723. https://doi.org/10.1139/cjce-2016-0158

Gillson, L., Biggs, H., Smit, I. P. J., Virah-Sawmy, M. et Rogers, K. (2019). Finding Common Ground between Adaptive Management and Evidence-Based Approaches to Biodiversity Conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, *34*(1), 31-44. https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.10.003

Gintrac, C. (2012). Géographie critique, géographie radicale : Comment nommer la géographie engagée ? *Carnets de géographes*, (4). https://doi.org/10.4000/cdg.1241

Gouvernement du Canada, S. C. (2022, 9 février). *Tableau de profil, Profil du recensement, Recensement de la population de 2021*. https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2021/dp-pd/prof/index.cfm?Lang=F

Hadlos, A., Opdyke, A. et Hadigheh, S. (2022). Where does local and indigenous knowledge in disaster risk reduction go from here? A systematic literature review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2022.103160

Hamelin, L.-E. (1979). The Bechevnik: a river bank feature from Siberia. *Musk-Ox*, *25*, 70-72.

Hermans, T. D. G., Šakić Trogrlić, R., Van Den Homberg, M. J. C., Bailon, H., Sarku, R. et 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

Hiwasaki, L., Luna, E., Syamsidik et Shaw, R. (2014). Process for integrating local and indigenous knowledge with science for hydro-meteorological disaster risk reduction and climate change adaptation in coastal and small island communities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *10*, 15-27. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2014.07.007

Jacomy, M., Venturini, T., Heymann, S. et Bastian, M. (2014). ForceAtlas2, a Continuous Graph Layout Algorithm for Handy Network Visualization Designed for the Gephi Software. *PLOS ONE*, *9*(6), e98679. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0098679

Jousse, S. (2012). *Représentation de la population du Bas-Saint-Laurent concernant la réponse des cours d'eau de leur village dans un contexte de changement climatique.* [Mémoire de maitrise, Université François Rabelais].

Kääb, A., Altena, B. et Mascaro, J. (2019). River-ice and water velocities using the Planet optical cubesat constellation. *Hydrology and Earth System Sciences*, *23*(10), 4233-4247. https://doi.org/10.5194/hess-23-4233-2019

Kämäri, M., Alho, P., Colpaert, A. et Lotsari, E. (2017). Spatial variation of river-ice thickness in a meandering river. *Cold Regions Science and Technology*, *137*, 17-29. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.01.009

Kerr, D. J., Shen, H. T. et Daly, S. F. (2002). Evolution and hydraulic resistance of anchor ice on gravel bed. *Cold Regions Science and Technology*, *35*(2), 101-114. https://doi.org/10.1016/S0165-232X(02)00043-5

Khalafzai, M.-A. K., McGee, T. K. et Parlee, B. (2021). Spring flooding and recurring evacuations of Kashechewan First Nation, northern Ontario, Canada. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *63*, 102443. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102443

Kovachis, N., Burrell, B. C., Huokuna, M., Beltaos, S., Turcotte, B. et 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. et 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

Lane, S. N., Odoni, N., Landström, C., Whatmore, S. J., Ward, N. et Bradley, S. (2011). Doing flood risk science differently: an experiment in radical scientific method. *Transactions of the Institute of British Geographers*, *36*(1), 15-36. https://doi.org/10.1111/j.1475-5661.2010.00410.x

Lave, R., Wilson, M. W., Barron, E. S., Biermann, C., Carey, M. A., Duvall, C. S., Johnson, L., Lane, K. M., McClintock, N., Munroe, D., Pain, R., Proctor, J., Rhoads, B. L., Robertson, M. M., Rossi, J., Sayre, N. F., Simon, G., Tadaki, M. et Van Dyke, C. (2013). Intervention: Critical physical geography. *Canadian Geographies / Géographies canadiennes*, *58*(1), 1-10. https://doi.org/10.1111/cag.12061

Lemay, M. et Bégin, Y. (2008). Hydroclimatic analysis of an ice-scar tree-ring chronology of a high-boreal lake in Northern Québec, Canada. *Hydrology Research*, *39*(5-6), 451-464. https://doi.org/10.2166/nh.2008.003

Leone, F. et Vinet, F. (2017). *Gérer les risques naturels : pratiques et outils*. Presses universitaires de la Méditerranée. https://hal.science/hal-03194144

Lindenschmidt, K., Das, A., Rokaya, P. et Chu, T. (2016). Ice-jam flood risk assessment and mapping. *Hydrological Processes*, *30*(21), 3754-3769. https://doi.org/10.1002/hyp.10853

Lindenschmidt, K.-E. (2020). *River Ice Processes and Ice Flood Forecasting: A Guide for Practitioners and Students*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-28679-8

Lindenschmidt, K.-E. (2023). Extension and refinement of a stochastic modelling approach to assess ice-jam flood hazard. *Hydrology Research*, *54*(2), 149-164. https://doi.org/10.2166/nh.2023.042

Lindenschmidt, K.-E. (2024). Ice-Jam Release Waves (Javes). Dans K.-E. Lindenschmidt (dir.), *River Ice Processes and Ice Flood Forecasting: A Guide for Practitioners and Students* (p. 437-459). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49088-0_13

Lindenschmidt, K.-E., Alfredsen, K., Carstensen, D., Choryński, A., Gustafsson, D., Halicki, M., Hentschel, B., Karjalainen, N., Kögel, M., Kolerski, T., Kornaś-Dynia, M., Kubicki, M., Kundzewicz, Z. W., Lauschke, C., Malinger, A., Marszelewski, W., Möldner, F., Näslund-Landenmark, B., Niedzielski, T., … Zdralewicz, M. (2023). Assessing and Mitigating Ice-Jam Flood Hazards and Risks: A European Perspective. *Water*, *15*(1), 76. https://doi.org/10.3390/w15010076

Lindenschmidt, K.-E. et Das, A. (2015). A geospatial model to determine patterns of ice cover breakup along the Slave River. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *42*(9), 675-685. https://doi.org/10.1139/cjce-2014-0377

Lindenschmidt, K.-E., Huokuna, M., Burrell, B. C. et Beltaos, S. (2018). Lessons learned from past ice-jam floods concerning the challenges of flood mapping. *International Journal of River Basin Management*, *16*(4), 457-468. https://doi.org/10.1080/15715124.2018.1439496

Litalien, V., Perez, S. C., Maltais, M., Buffin-Bélanger, T., Lapierre, É., Martineu, Z., Duguay, J., Doumbia, C., Lacey, J. et Trudel, M. (2025). Integrating ice-scar elevations on riparian trees into stochastic modelling of ice-jam floods. 23rd Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers, CGU HS Committee on River Ice Processes and the Environment.

Lubiniecki, T., Laroque, C. P. et 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

Mackay, J. R. et MacKay, D. K. (1977). The stability of ice-push features, Mackenzie River, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, *14*(10), 2213-2225. https://doi.org/10.1139/e77-190

Mackinson, S. (2001). *Integrating Local and Scientific Knowledge: An Example in Fisheries Science*. University of California Press. https://doi.org/10.1525/9780520321397

Madaeni, F., Chokmani, K., Lhissou, R., Homayouni, S., Gauthier, Y. et Tolszczuk-Leclerc, S. (2022). Convolutional neural network and long short-term memory models for ice-jam predictions. *The Cryosphere*, *16*(4), 1447-1468. https://doi.org/10.5194/tc-16-1447-2022

Madaeni, F., Lhissou, R., Chokmani, K., Raymond, S. et Gauthier, Y. (2020). Ice jam formation, breakup and prediction methods based on hydroclimatic data using artificial intelligence: A review. *Cold Regions Science and Technology*, *174*, 103032. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2020.103032

Magnuson, J. J., Robertson, D. M., Benson, B. J., Wynne, R. H., Livingstone, D. M., Arai, T., Assel, R. A., Barry, R. G., Card, V., Kuusisto, E., Granin, N. G., Prowse, T. D., Stewart, K. M. et Vuglinski, V. S. (2000). Historical Trends in Lake and River Ice Cover in the Northern Hemisphere. *Science*, *289*(5485), 1743-1746. https://doi.org/10.1126/science.289.5485.1743

Malone, A., Santi, P., Cabana, Y. C., Smith, N. M., Manning, J., Zeballos, E. Z. et Zhou, W. (2022). Cross-validation as a step toward the integration of local and scientific knowledge of geologic hazards in rural Peru. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *67*, 102682. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102682

Martel, N. (2019). *Analyse de la structure de l'écoulement à une confluence de cours d'eau en présence d'un couvert de glace* [Mémoire de maitrise, Université du Québec à Rimouski].

Massé, S., Buffin-Bélanger, T., Biron, P. et Ruiz, J. (2018). La portée et les limites des approches participatives pour la gestion intégrée des inondations. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, *31*(4), 341-362. https://doi.org/10.7202/1055593ar

Massé, S., Buffin-Belanger, T., Biron, P. et Ruiz, J. (2022). Applicabilité du concept d'espace de liberté dans les pratiques de gestion des cours d'eau et des plaines inondables au Québec. Dans *Les inondations au Québec* (Buffin-Bélanger, T., Maltais, D., Gauthier, M., p. 203-224). Presses de l'Université du Québec.

Massé, S., Demers, S., Besnard, C., Buffin-Bélanger, T., Biron, P. M., Choné, G. et Massey, W. (2020). Development of a mapping approach encompassing most fluvial processes: Lessons learned from the freedom space for rivers concept in Quebec (Canada). *River Research and Applications*, 1-13. https://doi.org/10.1002/rra.3567

Massie, D. D., White, K. D. et 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

Ministère de la Sécurité intérieure. (2025, 16 octobre). *Historique (publique) d'embâcles répertoriés au MSP - Données Québec*. Jeu de données - Historique (publique) d'embâcles répertoriés au MSP. https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/historique-publique-d-embacles-repertories-au-msp

Morin, S., Boucher, E. et 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

Nafziger, J., She, Y. et Hicks, F. (2016). Celerities of waves and ice runs from ice jam releases. *Cold Regions Science and Technology*, *123*, 71-80. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2015.11.014

Navarro, O. et Michel-Guillou, É. (2014). Analyse des risques et menaces environnementales : un regard psycho-socio-environnemental. Dans *L'individu au risque de l'environnement* (p. 271-297). In Press.

Newton, B. W., Prowse, T. D. et de Rham, L. P. (2016). Hydro-climatic drivers of mid-winter break-up of river ice in western Canada and Alaska. *Hydrology Research*, *48*(4), 945-956. https://doi.org/10.2166/nh.2016.358

Opfergelt, S., Gaspard, F., Hirst, C., Monin, L., Juhls, B., Morgenstern, A., Angelopoulos, M. et Overduin, P. P. (2024). Frazil ice changes winter biogeochemical processes in the Lena River. *Communications Earth & Environment*, *5*(1), 738. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01884-9

Pagneux, E., Gísladóttir, G. et Jónsdóttir, S. (2011). Public perception of flood hazard and flood risk in Iceland: a case study in a watershed prone to ice-jam floods. *Natural Hazards*, *58*(1), 269-287. https://doi.org/10.1007/s11069-010-9665-8

Pagneux, E. et 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

Petitpierre, G., Scelles, R., Bungener, M., Detraux, J.-J. et Tremblay, M. (2016). Mener une recherche en partenariat avec les acteurs sociaux, économiques et politiques : Réflexions pour une collaboration fructueuse et respectueuse de la recherche. *Contraste*, *43*(1), 245-265. https://doi.org/10.3917/cont.043.0245

Plante Lévesque, V., Boucher, É. et Proulx, G. (2019). Spatialisation des processus d'embâcles dans le bassin versant de la rivière l'Acadie, Montérégie : une approche hydrogéomorphologique. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, *32*(1), 21-36. https://doi.org/10.7202/1059878ar

Plante Lévesque, V., Persent, M.-A., Lhissou, R., Chokmani, K., Gauthier, Y. et Bernier, M. (2024). How Ice Mapping Can Help Manage and Prevent Ice Jams: Remote Sensing Monitoring of the Saint-François River, Québec. *Canadian Journal of Remote Sensing*, *50*(1), 2391972. https://doi.org/10.1080/07038992.2024.2391972

Prowse, T. D. (1986). Ice jam characteristics, Liard–Mackenzie rivers confluence. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *13*(6), 653-665. https://doi.org/10.1139/l86-100

Prowse, T. D., Bonsal, B., Duguay, C. et 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

Prugne, M., Corenblit, D., Boivin, M. et Buffin-Bélanger, T. (2025). Vegetation and channel adjustment trajectories in cold regions: The effects of ice disturbances in two Gaspesian rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, *50*(5), e70051. https://doi.org/10.1002/esp.70051

Raymond, C. M., Fazey, I., Reed, M. S., Stringer, L. C., Robinson, G. M. et 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

Rey-Valette, H., Rocle, N., Vye, D., Mineo-Kleiner, L., Longépée, E., Bazart, C. et Lautrédou-Audouy, N. (2019). Acceptabilité sociale des mesures d'adaptation au changement climatique en zones côtières : une revue de dix enquêtes menées en France métropolitaine. *VertigO. La revue internationale en sciences de l'environnement*, (19-2). https://doi.org/10.4000/vertigo.26537

Ringuet, J.-N. (2010). L'érosion du consentement en recherche sur des êtres humains au Québec. *Éthique publique. Revue internationale d'éthique sociétale et gouvernementale*, (vol. 12, n° 1), 31-53. https://doi.org/10.4000/ethiquepublique.151

Rokaya, P., Budhathoki, S. et Lindenschmidt, K.-E. (2018a). Ice-jam flood research: a scoping review. *Natural Hazards*, *94*(3), 1439-1457. https://doi.org/10.1007/s11069-018-3455-0

Rokaya, P., Budhathoki, S. et Lindenschmidt, K.-E. (2018b). Trends in the Timing and Magnitude of Ice-Jam Floods in Canada. *Scientific Reports*, *8*(1), 5834. https://doi.org/10.1038/s41598-018-24057-z

Santha, S. D., Gahana, P. et Aswin, V. S. (2014). Local knowledge, early warning and coastal hazards: Participatory inquiry among fishworkers in Kerala, India. *Action Research*, *12*(3), 273-292. https://doi.org/10.1177/1476750314532504

Shen, H. T. (2016). River ice processes. Dans L. K. Wang, C. T. Yang et M.-H. S. Wang (dir.), *Advances in Water Resources Management* (vol. 16, p. 483-530). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22924-9

Sui, J., Karney, B. W., Sun, Z. et Wang, D. (2002). Field Investigation of Frazil Jam Evolution: A Case Study. *Journal of Hydraulic Engineering*, *128*(8), 781-787. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:8(781)

Tadaki, M., Brierley, G., Dickson, M., Le Heron, R. et Salmond, J. (2015). Cultivating critical practices in physical geography. *The Geographical Journal*, *181*(2), 160-171. https://doi.org/10.1111/geoj.12082

Takakura, H. (2018). Local Perception of River Thaw and Spring Flooding of the Lena River. Dans T. Hiyama et H. Takakura (dir.), *Global Warming and Human - Nature Dimension in Northern Eurasia* (p. 29-51). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4648-3_3

Tang, Y., Feng, J., Wang, J., Sui, J. et Li, G. (2025). Research on the mechanical equilibrium equation of ice jam. *Journal of Hydrodynamics*, *37*(2), 320-330. https://doi.org/10.1007/s42241-025-0028-z

Tengö, M., Brondizio, E. S., Elmqvist, T., Malmer, P. et Spierenburg, M. (2014). Connecting Diverse Knowledge Systems for Enhanced Ecosystem Governance: The Multiple Evidence Base Approach. *AMBIO*, *43*(5), 579-591. https://doi.org/10.1007/s13280-014-0501-3

Trudel, M., Buffin-Bélanger, T., Biron, P., Lacey, J., Litalien, V., Maltais, M., Lapierre, É., Martineu, Z., Doumbia, C., Labrecque, A., Simard, N., Papin, Y. et Reyes, L. (2026, 12 janvier). *Cicatrices glacielles sur les arbres riverains* (version 2.0). Borealis. https://doi.org/10.5683/SP3/0NVWQU

Turcotte, B., Alfredsen, K., Beltaos, S. et Burrell, B. C. (2017). Ice-related floods and flood delineation along streams and small rivers. Dans *Proceedings of the 19th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers, Whitehorse, YT, Canada* (p. 10-12).

Turcotte, B. et Morse, B. (2013). A global river ice classification model. *Journal of Hydrology*, *507*, 134-148. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.032

Turcotte, B., Morse, B. et Pelchat, G. (2020). Impact of Climate Change on the Frequency of Dynamic Breakup Events and on the Risk of Ice-Jam Floods in Quebec, Canada. *Water*, *12*(10), 2891. https://doi.org/10.3390/w12102891

Turnbull, D. (1997). Reframing science and other local knowledge traditions. *Futures*, *29*(6), 551-562. https://doi.org/10.1016/S0016-3287(97)00030-X

US Army Corps of Engineers. (2023). *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual* (Version 6.4.1). Hydrologic Engineering Center.

Vergeynst, J., Morse, B. et Turcotte, B. (2017). Quantifying frazil production, transport and deposition in a gravel-bed river: Case study of the St. Raymond hanging dam. *Cold Regions Science and Technology*, *141*, 109-121. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2017.06.003

Viglione, A., Di Baldassarre, G., Brandimarte, L., Kuil, L., Carr, G., Salinas, J. L., Scolobig, A. et Blöschl, G. (2014). Insights from socio-hydrology modelling on dealing with flood risk – Roles of collective memory, risk-taking attitude and trust. *Journal of Hydrology*, *518*, 71-82. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.018

Vojinovic, Z., Hammond, M., Golub, D., Hirunsalee, S., Weesakul, S., Meesuk, V., Medina, N., Sanchez, A., Kumara, S. et Abbott, M. (2016). Holistic approach to flood risk assessment in areas with cultural heritage: a practical application in Ayutthaya, Thailand. *Natural Hazards*, *81*(1), 589-616. https://doi.org/10.1007/s11069-015-2098-7

White, K. D. (2003). Review of prediction methods for breakup ice jams. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *30*(1), 89-100. https://doi.org/10.1139/l02-047

Yang, J., Pei, C., She, Y. et Loewen, M. (2024). Investigation of anchor ice evolution in rivers and the impact of hydrometeorological conditions. *Journal of Hydrology*, *642*, 131851. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131851

Ye, Y. et She, Y. (2021). A systematic evaluation of criteria for river ice breakup initiation using *River1D* model and field data. *Cold Regions Science and Technology*, *189*, 103316. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2021.103316

Zhao, L., Hicks, F. E. et Fayek, A. R. (2012). Applicability of multilayer feed-forward neural networks to model the onset of river breakup. *Cold Regions Science and Technology*, *70*, 32-42. https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2011.08.011