

Trajectoires et visées de l'hydrogéomorphologie au Québec

Thomas Buffin-Bélanger¹ | Félix Lachapelle¹ | Pascale Biron² | Maxime Boivin³ 

¹Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec, Canada

²Université Concordia, Montréal, Québec, Canada

³Université du Québec à Chicoutimi, Saguenay, Québec, Canada

Adresse de correspondance / Correspondence to

Thomas Buffin-Bélanger, Département de biologie, chimie et géographie, Université du Québec à Rimouski, 300 Allée de Ursulines, Rimouski, QC G5L 3A1.

Courriel/Email: thomas_buffin-belanger@uqar.ca

Résumé

L'hydrogéomorphologie étudie la dynamique des rivières en se concentrant sur les interactions liant la structure des écoulements, la mobilisation et le transport des sédiments et les morphologies qui caractérisent les cours d'eau et leur bassin-versant. Elle offre un cadre d'analyse et des outils pour une meilleure intégration des connaissances sur la dynamique des rivières pour la gestion des cours d'eau au sens large, et plus spécifiquement, pour leur restauration, leur aménagement et pour l'évaluation et la prévention des risques liés aux aléas fluviaux. Au Québec, l'hydrogéomorphologie émerge comme contribution significative dans les approches de gestion et d'évaluation du risque et se trouve au cœur d'un changement de paradigme dans la gestion des cours d'eau par lequel la restauration des processus vise à augmenter la résilience des systèmes et des sociétés et à améliorer la qualité des environnements fluviaux. Cette contribution expose la trajectoire de l'hydrogéomorphologie au Québec à partir des publications scientifiques de géographes du Québec et discute des visées de la discipline en recherche et en intégration des connaissances pour la gestion des cours d'eau.

MOTS CLÉS

hydrogéomorphologie, géographie, épistémologie, bibliométrie, Québec, géosystème fluvial

Abstract

Hydrogeomorphology studies river dynamics, focusing on the interactions between flow structure, sediment transport, and the morphologies that characterize rivers and their watersheds. It provides an analytical framework and tools for better integrating knowledge of river dynamics into river management in the broadest sense, and more specifically, into river restoration as well as into the assessment and prevention of risks associated with fluvial hazards. In Quebec, hydrogeomorphology is emerging as a significant contribution to risk assessment and management approaches, and is at the heart of a paradigm shift in river management whereby process restoration aims to increase the resilience of fluvial systems and societies, and improve the quality of fluvial environments. This contribution outlines the trajectory of hydrogeomorphology in Quebec, based on scientific publications by Quebec geographers, and discusses the discipline's aims in research and knowledge integration for river management.

This is an open access article under the terms of the [Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2023 The Authors. *Canadian Geographies* / *Géographies canadiennes* published by Wiley Periodicals LLC on behalf of Canadian Association of Geographers / l'Association canadienne des géographes.

KEYWORDS

bibliometrics, epistemology, geography, hydrogeomorphology, Quebec, river geosystem

Messages clés

- Les géographes du Québec ont contribué fortement au développement des connaissances et outils de l'hydrogéomorphologie.
- L'hydrogéomorphologie a évolué d'une science fondamentale à une science où les connaissances fondamentales sont au service de la gestion des cours d'eau.
- L'hydrogéomorphologie et le cortège de connaissances et d'outils qu'elle promeut font de cette discipline une partenaire clé pour une gestion holistique des cours d'eau.

INTRODUCTION

L'hydrogéomorphologie contribue de manière fondamentale au renouvellement des approches préconisées pour la gestion des cours d'eau au Québec. À l'interface de la géomorphologie et de l'hydrologie (Sidle et Onda, 2004), l'hydrogéomorphologie se trouve dans la continuité de travaux fondateurs de la géomorphologie fluviale occidentale. La Figure 1 présente une image partielle de contributions marquantes de la géomorphologie fluviale depuis le début du siècle dernier et identifie les contributions ayant défini les contours de l'hydrogéomorphologie à partir des années 1980. Le concept d'équilibre dynamique de Gilbert (1877) et le cycle d'érosion de Davis (1899) sont souvent ciblés comme des contributions phares de la géomorphologie fluviale où l'analyse des formes du paysage s'appuie sur le travail que peut accomplir l'eau comme agent d'érosion sur les masses continentales. Ces concepts ont évolué en parallèle à une analyse fine des processus contribuant à la transformation des paysages, notamment par le transport des sédiments dans les cours d'eau (Gilbert, 1914).

Les travaux du milieu du siècle dernier ont bénéficié du développement d'une gamme d'outils cartographiques, dont les cartes topographiques qui ont révolutionné les connaissances, entre autres sur la forme et l'évolution des réseaux de drainage, et de développements quantitatifs, dont les relations de géométrie hydraulique reliant les formes du chenal au débit des cours d'eau, comme le soulignent les nombreux

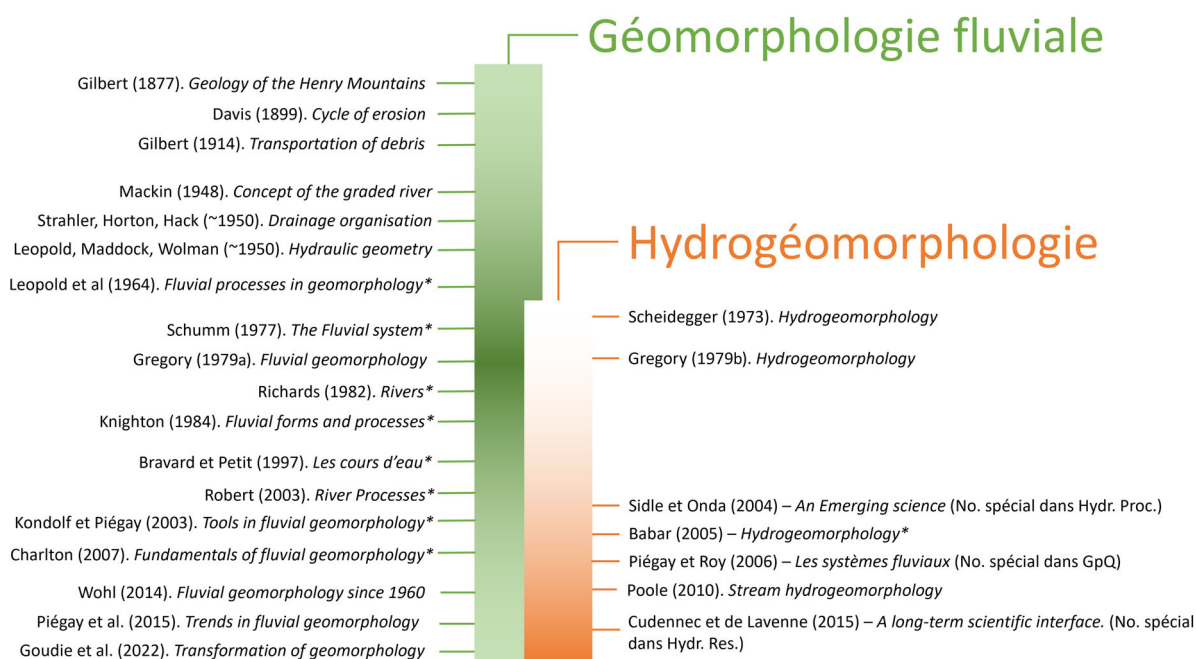


FIGURE 1 Contributions phares des disciplines de la géomorphologie fluviale et de l'hydrogéomorphologie. Babar (2005); Charlton (2007); Cudennec et Lavenne (2015); Gregory (1979a); Gurnell et al. (2016); Kondolf et Piégay (2003); Leopold et al. (1964); Mackin (1948); Robert (2003). * indique les ouvrages de références.

travaux réalisés durant cette période. Dans le dernier quart du 20^e siècle, les ouvrages de référence de Schumm (1977), Richards (1982), Knighton (1984) et Bravard et Petit (1997), entre autres, confirment le statut disciplinaire de la géomorphologie fluviale dont l'objectif est la compréhension des formes et des processus liés aux eaux courantes. Ce domaine positionne les cours d'eau comme faisant partie d'un système fluvial qu'ils façonnent, mais aussi dont dépendent leurs propriétés. Scheidegger (1973) proposait pour la première fois le terme hydrogéomorphologie en le définissant comme la science qui étudie les formes façonnées par l'eau. Gregory (1979b) discute de l'intérêt et de la pertinence de l'arrivée de ce nouveau terme et propose une vision plus large de l'hydrogéomorphologie comme étant une science qui étudie les processus fluviaux, les formes associées, mais aussi et surtout les interactions entre ces processus et ces formes. Cette définition cristallise la position d'interface qu'occupe l'hydrogéomorphologie entre la géomorphologie et l'hydrologie. Cette position, appuyée par Sidle et Onda (2004) et Goerl et al. (2012), soutient qu'elle est une science cherchant à comprendre la contribution des processus hydrologiques à la formation et à l'évolution du paysage et le rôle des reliefs et substrats sur ces mêmes processus hydrologiques et ce à différentes échelles temporelles et spatiales.

Considérant les objets d'études et les outils d'analyse, le chevauchement entre l'hydrogéomorphologie et la géomorphologie fluviale demeure cependant très élevé. Les deux terminologies coexistent aujourd'hui dans l'espace des disciplines (Figure 1) et le choix de l'utilisation d'un terme ou de l'autre semble dépendre davantage d'une trajectoire disciplinaire et d'une culture académique vernaculaires. Par exemple, dans la littérature académique française, le terme hydromorphologie (Malavoi et Bravard, 2011) paraît davantage répandu que celui d'hydrogéomorphologie ou de géomorphologie fluviale. Ce terme est apparu en France, notamment pour distinguer la discipline hydromorphologique de l'approche hydrogéomorphologique portant plus spécifiquement sur la cartographie des zones inondables, à partir d'indicateurs morphosédimentaires laissés en place par les crues (Ballais et al., 2011). Au Québec, le terme hydrogéomorphologie est plus largement utilisé que géomorphologie fluviale depuis une quinzaine d'années. Elle demeure une discipline fortement ancrée dans la tradition de la géomorphologie fluviale dont les connaissances fondamentales migrent vers le développement d'outils pour éclairer la prise de décision en lien avec la gestion des cours d'eau. Dans ce texte, nous utilisons les termes hydrogéomorphologie et géomorphologie fluviale de manière interchangeable en reconnaissant que l'hydrologie et la géomorphologie sont deux composantes essentielles de ces deux disciplines.

Plusieurs recensions font déjà état de l'évolution des contributions en géomorphologie (Clément, 1974; Church, 2010; Dubois et Provencher, 2010; Goudie et al., 2022; Hooke, 2020; Orme, 2013; Slaymaker, 2009). Church (2010) décrit en détail des changements majeurs survenus en géomorphologie au tournant du 21^e siècle et met en relief des questions fondamentales sur lesquelles devrait se pencher la géomorphologie. Parmi celles-ci, plusieurs sont pertinentes pour l'hydrogéomorphologie : la quantification des flux de matière à la surface de la terre, l'évaluation de la contribution du vivant, de l'humain et des changements climatiques sur ces flux, la compréhension des processus complexes et les interactions entre les processus à différentes échelles. Slaymaker (2009) expose aussi les défis qui se posent à la géomorphologie dont la nécessité de développer des bases intellectuelles et philosophiques plus fortes et l'importance d'établir les rôles relatifs de l'*immanence* (interne à l'objet) et de la *configuration* (lieu où se situe l'objet) en géomorphologie. Il souligne lui aussi l'intérêt de consolider une appréciation plus grande du rôle de l'humain sur l'évolution des formes et des processus en géomorphologie. À la même période, Dubois et Provencher (2010) tracent l'évolution de la géomorphologie dans le milieu académique québécois par le biais d'une analyse exhaustive des communications en géomorphologie sur près de six décennies. Les constats de Dubois et Provencher (2010) soulignaient la diminution de certains champs de géomorphologie (régionale et quaternaire) au profit d'une géomorphologie davantage axée sur les processus actuels pour la gestion des risques naturels, par exemple, ou encore orientée vers des disciplines connexes (écologie, géologie, etc.). Ces constats rejoignent ceux de Hooke (2020) et Goudie et al. (2022). À partir d'une analyse détaillée des études appliquées de la géomorphologie sur une période de 50 ans, Hooke (2020) constate ainsi l'énorme expansion du rôle de la géomorphologie dans les évaluations environnementales et dans les législations nationales pour le bénéfice du développement durable de nos sociétés et de leurs environnements.

Plus spécifique à l'évolution de l'hydrogéomorphologie, Wohl (2014) et Piégay et al. (2015) exposent des analyses exhaustives des contributions émanant de périodiques scientifiques, dont particulièrement *Geomorphology* et *Earth Surface Processes and Landforms*, depuis le milieu des années 1980. Les deux analyses soulignent l'augmentation marquée du nombre d'articles en hydrogéomorphologie alors qu'en moyenne près de 2,5 fois plus d'articles sont publiés annuellement après l'année 2000 et ce pour un total annuel moyen oscillant entre 150 et 200 articles en combinant ces deux périodiques. Wohl (2014) met en perspective l'évolution d'une discipline orientée sur les processus physiques de cours d'eau à faible pente et à taille granulométrique fine vers une discipline plus intégrative des rivières comme écosystème dans une grande diversité d'environnements de pentes et de granulométrie variées. De leur côté, Piégay et al. (2015) révèlent une diversification de la nationalité des auteurs et des études portant davantage sur les échelles de temps actuelles et sur l'échelle spatiale des tronçons fluviaux. Les deux études notent également l'expansion marquée des outils de mesure terrain et d'analyses géomatiques ainsi que des sources de données pour la compréhension des systèmes fluviaux. Piégay et al. (2015) affirment qu'une nouvelle ère de production de connaissances en géomorphologie fluviale est présente depuis les années 2000, menant à une internationalisation et à une quantification active des processus se produisant dans les systèmes fluviaux.

Au Québec, l'hydrogéomorphologie propose aujourd'hui des connaissances et des outils contribuant au renouvellement des approches préconisées pour la gestion des cours d'eau. Cette discipline a commencé à façonner timidement la recherche dans les universités du Québec au début des années 1970. Clément (1974) dénombrait moins d'une dizaine d'articles et rapports portant sur la dynamique fluviale sur près de 200

travaux en géomorphologie pour la décennie 1960-1970 (<5%). Depuis, la discipline s'est déployée surtout dans les programmes de géographie et plusieurs équipes de recherche ont contribué à son développement. Dans leur recherche exhaustive, Dubois et Provencher (2010) exposent l'intérêt grandissant pour l'hydrogéomorphologie occupant alors un peu plus de 15% de communications recensées sur près de 6 décennies. Outre les travaux de Clément (1974) et Dubois et Provencher (2010) qui proposent un point de vue sur la place de la géomorphologie au Québec, il n'existe actuellement pas de portrait spécifique de la contribution des géographes du Québec à l'hydrogéomorphologie. On peut penser qu'elle suit les tendances observées dans les travaux de Wohl (2014), Piégay et al. (2015) et Hooke (2020), mais qu'en est-il vraiment? Aussi, comment les travaux récents ont-ils abordé les défis et questions fondamentales soulevés par Slaymaker (2009) et Church (2010)? Dans cette perspective, cet article examine l'évolution des contributions de géographes œuvrant dans les programmes de géographie du Québec aux connaissances en hydrogéomorphologie pour la période 1972-2022. Cette analyse expose l'énorme contribution des géographes à ces connaissances et permet de proposer des visées en recherche et en intégration des connaissances de la discipline pour la gestion durable des cours d'eau.

ÉLÉMENTS MÉTHODOLOGIQUES

À l'instar des travaux de Wohl (2014) et Piégay et al. (2015), les contributions considérées pour examiner l'évolution de l'hydrogéomorphologie au Québec proviennent essentiellement d'articles dans des périodiques scientifiques. L'intégration d'une documentation plus diversifiée permettrait un regard plus large des contributions de la géographie à l'hydrogéomorphologie, mais l'absence de bases de données fiables pour l'analyse de contributions de type rapports de recherche et les lacunes des bases de données de mémoires de maîtrise et de thèses de doctorat sur la période considérée ont consolidé ce choix. Deux approches ont été retenues pour constituer la liste des articles à examiner. D'abord, une liste d'une vingtaine de professeurs-chercheurs œuvrant dans des départements/programmes de géographie au Québec et ayant contribué à une des deux composantes fondamentales de l'hydrogéomorphologie (hydrologie et géomorphologie) depuis 1970 a été produite (voir le fichier de matériel supplémentaire). Nous commençons notre recherche aux débuts des années 1970 qui constituent à la fois une période d'expansion du mode universitaire au Québec avec la création du réseau de l'Université du Québec et à la fois un moment clef pour l'émergence des travaux en géomorphologie (Clément, 1974; Dubois et Provencher, 2010). Une recherche systématique des publications de ces chercheurs a été réalisée à l'aide du moteur de recherche Web of Science. Tous les articles scientifiques ont été scrutés et ceux traitant des composantes en hydrologie et en géomorphologie liées à l'hydrogéomorphologie des cours d'eau ont été retenus. Dans un deuxième temps, Web of science a été interrogé avec les combinaisons de mots clés « Quebec », « river » et « geomorphology » ainsi que « Quebec » et « hydrogeomorphology » pour éviter d'échapper des publications d'autres équipes de recherche. Les profils ResearchGate des professeurs-chercheurs ont également été utilisés pour valider la base de données.

Ces démarches ont permis la construction d'une base de données comportant 475 articles scientifiques publiés entre 1972 et 2022 (voir le fichier de matériel supplémentaire). Deux types d'informations ont été extraits de ces articles. D'abord, des informations de base (année de publication, nombre d'auteurs, périodique de publication, mots clés et verbes des objectifs de l'étude) ont été systématiquement compilées pour produire un portrait global des publications. Ensuite, des informations ciblées selon 6 catégories ont été extraites (Tableau 1) à partir d'une lecture attentive et d'un certain niveau d'interprétation pour attribuer la modalité la plus adéquate afin de donner un aperçu des thématiques de recherche retenues. La *discipline* réfère à l'identification d'une discipline principale émanant du contenu de l'article contribuant à l'hydrogéomorphologie. Nous avons retenu les articles centrés sur la géomorphologie ou l'hydrologie mais aussi ceux plus ciblés sur la biogéomorphologie (Viles, 2020), sur l'hydraulique et sur le Quaternaire en lien avec la dynamique des cours d'eau. Cette catégorie permet de peindre un portrait plus large de la contribution des géographes à l'hydrogéomorphologie. Le *motif* permet de distinguer les articles orientés sur le développement des connaissances, ceux sur le développement d'une méthodologie ou encore ceux proposant un état des connaissances (recension de la littérature). La *finalité* veut souligner les retombées principales en matière de développement de connaissances ou de gestion des cours d'eau sur des thèmes spécifiques à l'hydrogéomorphologie. Le *contexte* expose de manière plus spécifique l'objet ou le processus étudié. On retrouve dans cette catégorie plusieurs modalités contrastées faisant référence à l'échelle temporelle d'étude, à l'événement hydrologique d'intérêt ou encore aux dynamiques propres aux processus fluvio-glaciels ou à la présence de bois mort en rivière. Cette dernière catégorie pouvait mener à des modalités multiples pour un article donné, mais nous avons conservé la modalité la plus représentative pour l'article. L'*échelle d'analyse* fait référence à l'échelle spatiale principale ciblée dans l'article et les modalités s'articulent autour des échelles proposées par Gurnel et al. (2016). Ces échelles sont à la base de la reconnaissance de l'imbrication des processus et des formes constituant le système fluvial de Schumm (1977) (Figure 2a). Finalement, la *trinité* veut distinguer la composante étudiée ou encore les interactions entre les composantes étudiées selon la conceptualisation initiale de Leeder (1983), enrichie par Best (1993), décrivant la dynamique fluviale selon trois composantes fondamentales et leurs interactions : la structure des écoulements, le transport des sédiments et la morphologie du lit des cours d'eau. Cette conceptualisation s'est implantée comme cadre d'analyse pour un large éventail d'études en hydrogéomorphologie, particulièrement celles portant sur l'étude des interactions entre la structure des écoulements et le transport des sédiments (Roy et Lamarre, 2011). La portée de ce cadre peut cependant s'élargir à une gamme d'échelles spatiales et temporelles plus vaste que la proposition originale de Leeder (1983), comme le propose la Figure 2b, devenue un cadre d'analyse original de l'hydrogéomorphologie au Québec.

TABEAU 1 Définitions et modalités des six catégories d'information extraites des contributions.

Catégorie	Définition	Modalités
Discipline	Discipline principale	Géomorphologie Hydrologie Biogéomorphologie Hydraulique Autres (<i>hydrogéologie, biogéochimie, Quaternaire, sédimentologie</i>)
Motif	Type de contribution scientifique	Développement de connaissances Développement de méthodes État des connaissances
Finalité	Retombées potentielles de l'article	Gestion des habitats aquatiques Gestion des cours d'eau Gestion des aléas fluviaux Connaissances des morphodynamiques Connaissances des écoulements Connaissances du ruissellement Impacts anthropiques Autres
Contexte	Objet d'étude ou temporalité de l'objet d'étude	Trajectoire (hydrologique, hydrogéomorphologique) Annuel Non-hivernal Hivernal Crue Étiage Bois morts Autres
Échelle	Échelles spatiales de l'étude	Microforme (<i>dune, amas de galets</i>) Unité morphologique (<i>banc, seuil, mouille, confluence</i>) Tronçon homogène (<i>style fluvial</i>) Unité de paysage (<i>plaine, cône, delta</i>) Bassin-versant Autres
Trinité	Composantes de la trinité fluviale	Écoulement (E) Morphologie (M) Transport sédimentaire (TS) Interactions M-E Interactions TS-M Interactions E-TS Interactions E-TS-M Autres

ÉVOLUTION DES CONTRIBUTIONS EN HYDROGÉOMORPHOLOGIE

Portrait global

La Figure 3 brosse un portrait global des contributions à partir des informations concernant les principaux périodiques de publication, le nombre d'auteurs, l'objectif principal ainsi que la décennie de publication des 475 articles analysés. On constate une augmentation marquée des publications au fil des décennies alors que la majorité ont été publiées après 2003 (>80%). Les périodiques *Earth Surface Processes and Landforms* et *Geomorphology* sont les périodiques les plus fréquemment considérés, constituant près de 30% des publications à eux deux, alors que *Géographie physique et Quaternaire* et *Revue des sciences de l'eau*, deux périodiques clefs pour l'essor de la géomorphologie et de l'hydrologie francophone, comportent près de 13% des publications. On note d'ailleurs un nombre significatif de publications en français (~12%) durant toute la période. Dans les faits, plus de 125 périodiques différents ont été retenus par les géographes du Québec et près de 60% de ces périodiques ne comportent qu'un seul article. Les articles sont le produit d'équipe de travail comportant entre 3 et 5 auteurs dans près de 65% des cas. Finalement, les objectifs principaux se positionnent généralement dans les domaines de l'observation et de la description (examiner, comparer, analyser, évaluer, décrire) même si l'objectif le plus fréquent (déterminer) s'ancre dans les domaines de la modélisation et de la prédiction.

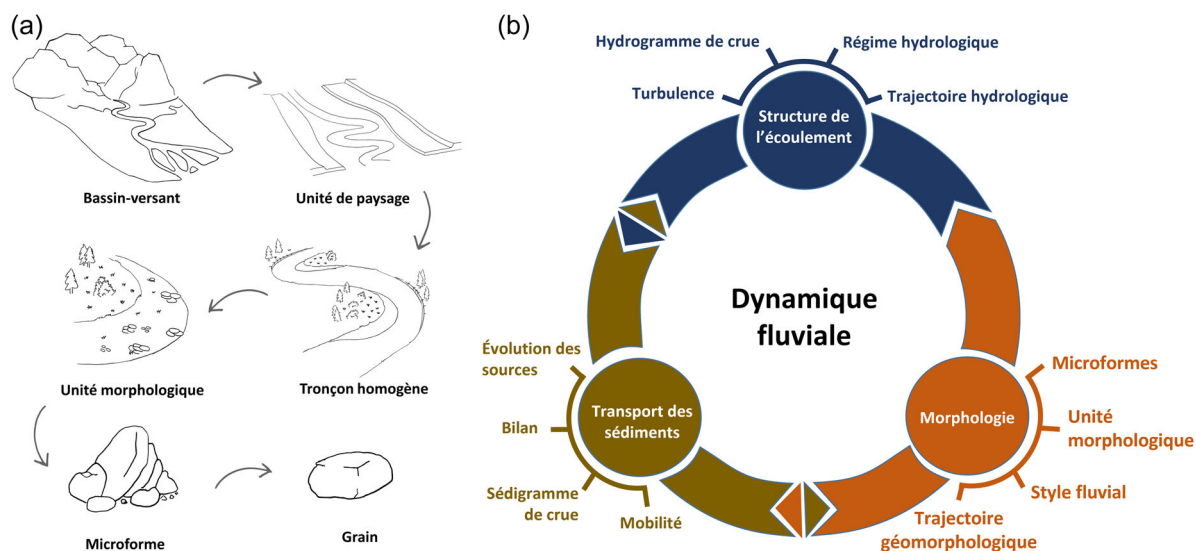


FIGURE 2 Cadres d'analyse de l'hydrogéomorphologie : (a) échelles spatiales inspirées du système fluvial de Schumm (1977) et décrites par Gurnel et al. (2016) et (b) composantes de la dynamique fluviale inspirées de la trinité de Leeder (1983).

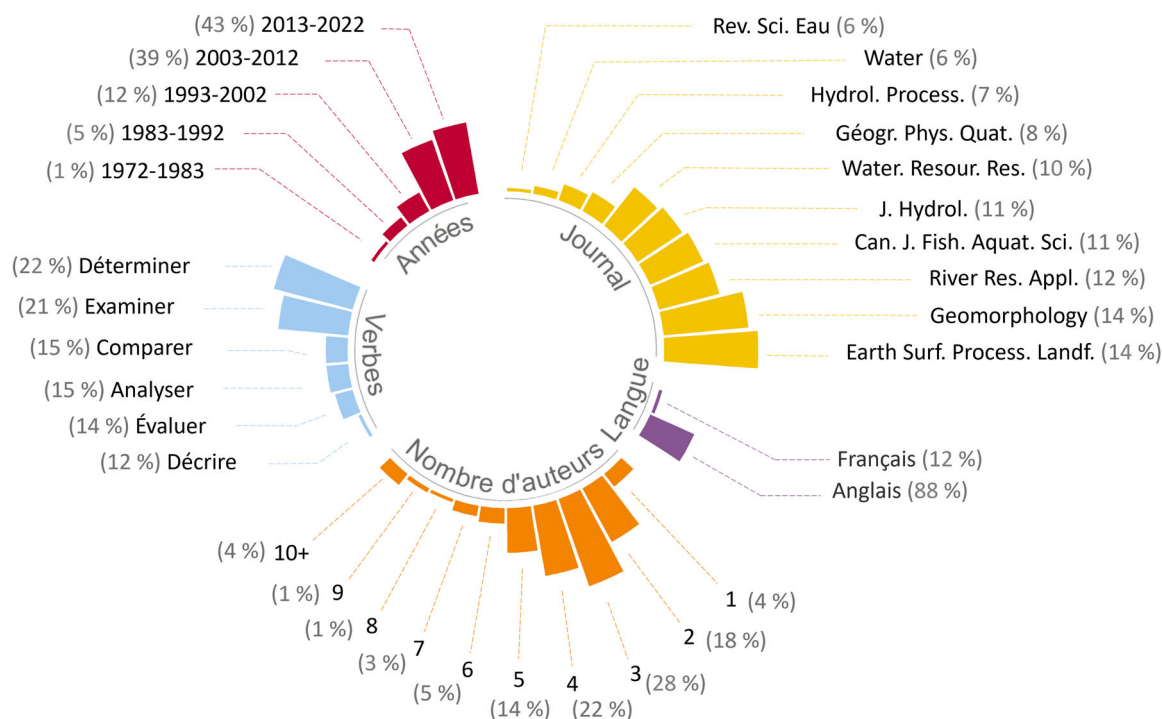


FIGURE 3 Portait global des publications en hydrogéomorphologie au Québec pour la période 1972-2022. Les valeurs de pourcentage sont arrondies à l'unité.

De manière plus spécifique, la Figure 4 illustre l'évolution du nombre de publications par année pour les cinq dernières décennies et positionne les mots clefs les plus fréquemment observés pour les trois dernières décennies. On note que la période 1983-1992 constitue clairement l'émergence d'études portant sur des composantes de l'hydrogéomorphologie alors que pour la première fois plus d'une publication par année (~2,5 p/a) est recensée. La décennie précédente ne comportait que 5 publications en 10 ans. La période 1993-2002 comporte 2 fois plus de publications (~6 p/a) que la précédente et le contenu semble tourné vers une science fondamentale orientée vers l'écoulement (structures d'écoulement, turbulence, recirculation, etc.) et le transport sédimentaire. La période 2003-2012 connaît une seconde hausse importante du nombre de publications scientifiques alors qu'on y recense presque trois fois plus de publications (~17 p/a) que durant la période précédente. Les mots clefs *turbulence* et *transport sédimentaire* sont encore présents, mais on note une diversification des thématiques et des

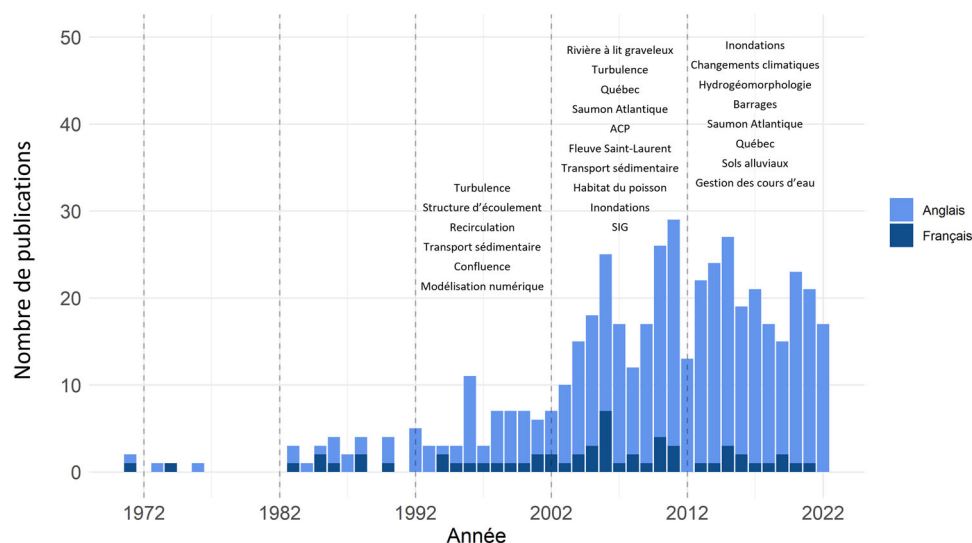


FIGURE 4 Évolution annuelle des publications traitant des composantes de l'hydrogéomorphologie par des géographes du Québec et mots clefs les plus fréquents par décennie pour les trois dernières décennies.

échelles dans les mots clefs. Les études portant sur l'habitat du saumon atlantique (*Salmo salar*) occupent un espace important durant cette période alors que 2 des 10 mots clefs lui sont associés. Les termes GIS (système d'information géographique) et ACP (analyse en composante principale) apparaissent également, ce qui souligne l'importance des outils d'analyse comme élément central de certaines études. Le mot « inondation » apparaît aussi, soulignant de ce fait l'émergence d'un intérêt pour la connaissance et la gestion de l'aléa. On voit ainsi naître dans cette période les particularités d'une science plus appliquée que fondamentale. Finalement, le nombre de publications pour la dernière période (2013-2022) augmente légèrement comparativement à la période précédente (~20 p/a). On note cependant une diminution marquée de la proportion de textes en français (6%) comparativement aux 3 périodes précédentes comptant respectivement 28%, 22% et 15% de textes en français. Cette diminution s'explique en grande partie par la fermeture des périodiques *Géographie physique et Quaternaire* en 2007 et *Revue des sciences de l'eau* en 2020. Les mots-clés de cette période sont d'une nature différente de la période précédente. On s'intéresse davantage aux inondations et aux processus en plaines alluviales. Le rôle des barrages et des changements climatiques sur les réponses hydrologiques sont aussi davantage pris en compte dans la recherche. Avec le terme « hydrogéomorphologie » comme mot-clé le plus populaire, il semble que les géographes du Québec œuvrant dans le domaine des rivières s'approprient et adhèrent de manière plus explicite à cette discipline. Les mots-clés les plus couramment utilisés cachent d'autres thèmes non soulignés ici, mais ils suggèrent que l'étude des cours d'eau au Québec chemine vers une science de plus en plus appliquée.

La Figure 5 illustre l'évolution des publications selon les 10 périodiques les plus fréquemment retenus par les géographes du Québec. On constate la présence continue des périodiques *Geomorphology*, *Earth Surface Processes and Landforms* et *Water Resources Research*. Ces périodiques comportent plus de 40% de l'ensemble des articles, mais on note une diminution de leur contribution relative dans les deux dernières décennies, période durant laquelle plusieurs nouvelles revues apparaissent. *Géographie physique et Quaternaire* occupe une place importante dans les publications des géographes du Québec jusqu'à la fermeture de la revue en 2007, dont deux numéros spéciaux portant sur l'hydrogéomorphologie par la francophonie (Piégay et Roy, 2006). La *Revue des sciences de l'eau*, autre périodique publiant largement en français, contient aussi plusieurs articles entre les années 2002 et 2012. Les années 2000 sont marquées à la fois par une augmentation des articles, mais aussi par une diversification des périodiques considérés. Parmi ceux-ci, *Journal of Hydrology*, *River Research and Applications* et *Hydrological Processes* constituent un groupe de périodiques dont les proportions sont similaires à *Geomorphology* et *Earth Surface Processes and Landforms*. On note également une présence constante après 2000 d'articles dans le *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, soulignant l'importance des contributions de l'hydrogéomorphologie pour la caractérisation des habitats aquatiques, entre autres. Depuis 2012, le périodique en libre accès *Water* domine les publications en termes de proportion.

Les thématiques et leur évolution

La Figure 6 présente un portrait thématique des 475 articles selon les 6 catégories d'information interprétées. Ce portrait confirme la place marquée de la géomorphologie (~44%) et de l'hydrologie (~24%) ainsi que la place particulière de la biogéomorphologie (~20%) dans les publications de géographes du Québec à l'hydrogéomorphologie. Trois échelles d'analyse semblent privilégiées dans ces études : le

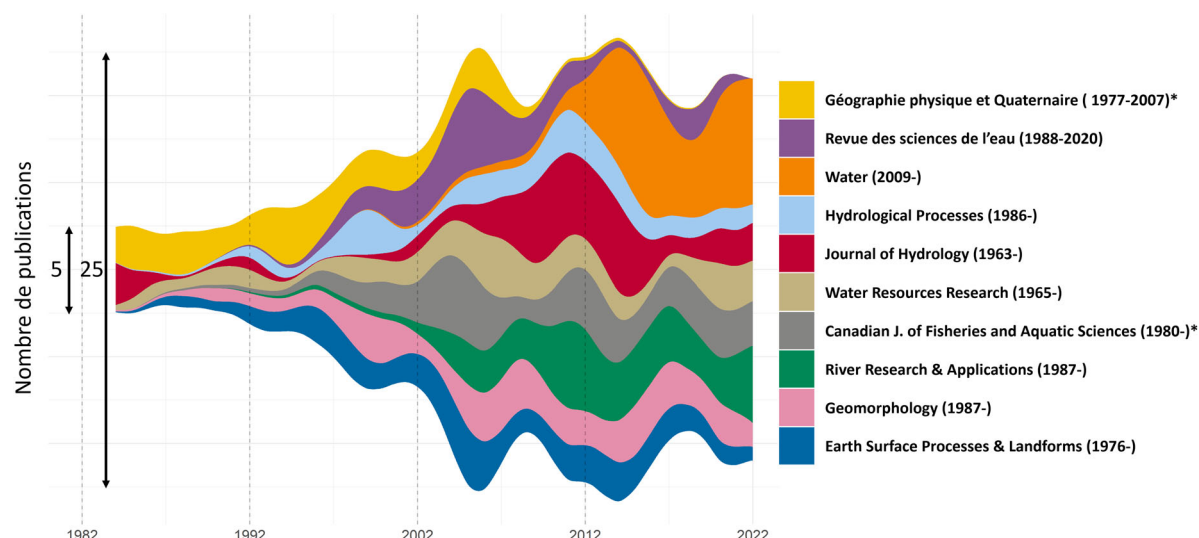


FIGURE 5 Évolution de la proportion relative des 10 périodiques les plus fréquemment retenus par les géographes du Québec pour des publications en lien avec des composantes de l'hydrogéomorphologie. Les dates de création et de fermeture des périodiques sont indiquées et les * soulignent que la date indiquée concerne la date de création du nom le plus récent du périodique pour les périodiques ayant changé de nom.

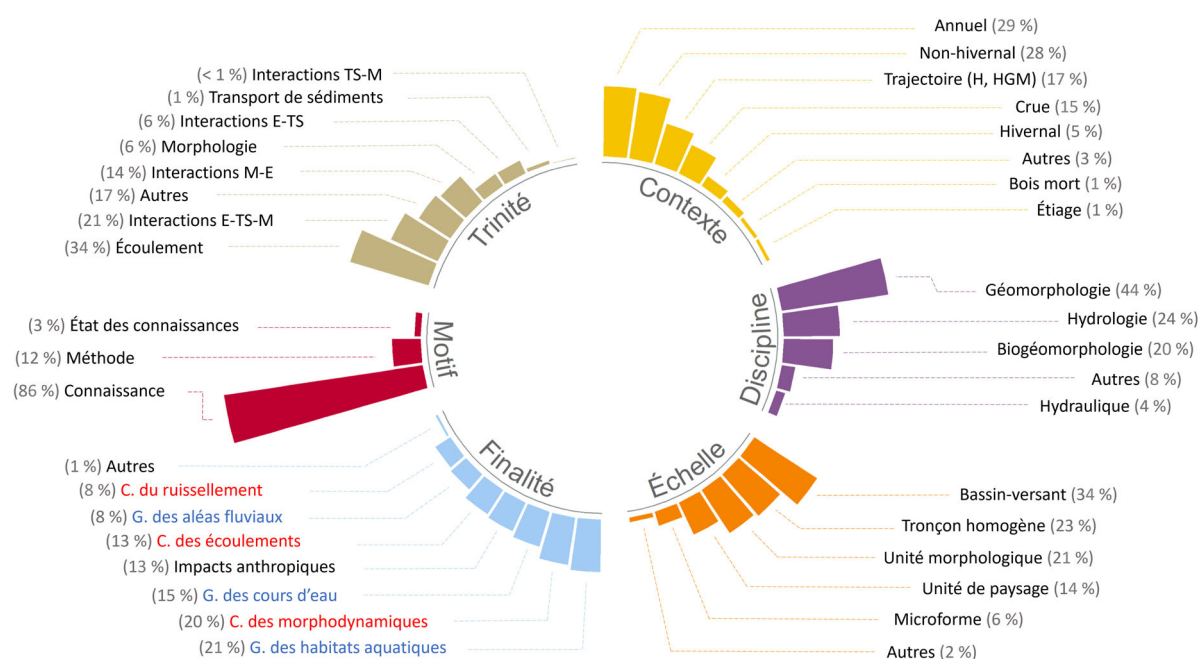


FIGURE 6 Portait des catégories d'information analysées dans les publications de géographes du Québec en lien avec des composantes de l'hydrogéomorphologie du Québec pour la période 1972-2022.

bassin-versant, les tronçons et les unités morphologiques, lesquels sont l'intérêt principal de plus de 75% des travaux recensés. Pour ce qui est des composantes de la trinité, la structure des écoulements tient une place importante considérant que près de 35% des études se concentrent particulièrement sur cette composante alors que dans l'ensemble, près de 75% s'intéressent aux interactions entre cette composante et les deux autres (transport sédimentaire et morphologie). En ce qui a trait à la finalité, les études motivées par le développement de connaissances fondamentales (>40%) sont aussi prévalentes que celles axées sur les approches de gestion des cours d'eau (>40%), avec la gestion des habitats aquatiques présentant la plus grande attraction (~21%). Les impacts anthropiques sur une composante des systèmes fluviaux demeurent l'une des finalités dont l'occurrence est relativement faible (~13%) sur l'ensemble des articles. Le contexte expose le nombre relativement faible d'études traitant spécifiquement des dynamiques fluvio-glacielles et des réponses hydrologiques en périodes hivernales (~5%), alors que plusieurs se concentrent sur des processus et événements survenant dans des saisons autres que la période hivernale (29%). L'évolution dans le

temps des dynamiques géomorphologiques ou des caractéristiques hydrologiques constitue un contexte d'analyse bien présent alors que 17% des études s'intéressent particulièrement à une notion de trajectoire. Finalement, il ressort que la grande majorité des publications vise le développement des connaissances (~86%), une plus faible proportion propose des développements méthodologiques (~12%) alors que les articles proposant un état des connaissances sont proportionnellement peu nombreux (~3%).

De manière plus spécifique, la Figure 7 expose l'évolution de la proportion relative des publications de géographes du Québec en lien avec des composantes de l'hydrogéomorphologie selon quatre catégories d'information retenues pour l'analyse. Concernant l'échelle d'analyse (Figure 7a), l'évolution des proportions révèle que les tronçons homogènes et les unités morphologiques constituaient les échelles d'analyse dominantes avant les années 2000. La période 1983-1992 est notamment marquée par des travaux à l'échelle des tronçons de rivières à méandres (Carson, 1984; Carson et Lapointe, 1983) et de géométrie hydraulique (Bergeron et Roy, 1985; Roy et al., 1988) alors que la période 1993-2002 comporte plusieurs études en lien avec les confluences de cours d'eau (Biron et al., 1993; De Serres et al., 1999) et la rugosité des rivières graveleuses (Bergeron, 1996; Buffin-Bélanger et Roy, 1998; Robert et al., 1996). L'augmentation du nombre d'articles après les années 2000 se combine à une diversification des échelles d'études avec un intérêt particulier pour les microformes entre 2002 et 2012 (Lacey et Roy, 2007). Après 2012, l'échelle du bassin-versant devient l'échelle d'analyse dominante dans les textes publiés (Gagnon-Poiré et al., 2021; Jautzy et al., 2021; Ouellet-Dallaire et al., 2020).

L'évolution de l'étude des composantes de la dynamique fluviale révèle que la structure de l'écoulement et les interactions avec le transport des sédiments et la morphologie du lit occupent une place importante dans les publications (Figure 7b). Par exemple, on retrouve, et respectivement selon les 4 périodes, les travaux de Carson et Griffiths (1985) sur les forces tractrices et la mobilité des sédiments, de Carboneau et Bergeron (2000) concernant l'effet du transport en charge de fond sur la structure des écoulements, de Paiement-Paradis et al. (2011) sur l'analyse de la mobilité des particules dans des écoulements turbulents en rivière et, finalement, de Bernier et al. (2021) sur la sensibilité des berges à l'érosion fluviale. On constate que peu d'études ont focalisées spécifiquement sur le transport des sédiments, sur la morphologie et sur les interactions entre ces deux composantes (par exemple, Lamarre et Roy, 2008; MacVicar et Roy, 2011). Aussi, à partir de l'année 2005, plusieurs articles ne cadreraient pas directement dans les composantes de la trinité si bien qu'un nombre significatif a été classé dans la catégorie « autres ».

L'évolution de la finalité expose un changement marqué des études axées vers le développement de connaissances fondamentales avant l'année 2000 à des études orientées davantage vers des connaissances et outils pour la gestion (Figure 7c). On observe dans les faits que le nombre de publications contribuant au développement des connaissances fondamentales demeure relativement stable et que l'augmentation du nombre total d'articles provient en grande partie de l'explosion des articles portant sur des motifs axés sur la gestion. La gestion des habitats aquatiques est bien présente depuis le début des années 2000 (Enders et al., 2003; Johnston et al., 2005; Kim et Lapointe, 2011), alors que la gestion des aléas fluviaux apparaît davantage à partir de l'année 2010 (Demers et al., 2014; Mazouz et al., 2012; Saint-Laurent et al., 2009). L'impact des activités anthropiques sur la dynamique des cours d'eau apparaît également plus fréquemment depuis le début des années 2000 (Assani et al., 2007; Massey et al., 2017; Talbot et Lapointe, 2002) et cet aspect occupe une place relativement constante dans l'ensemble des articles.

Finalement, l'évolution des proportions liées aux différentes disciplines exprime la proportion importante qu'occupait la géomorphologie avant les années 2000, alors que pour les deux décennies suivante, l'hydrologie et la biogéomorphologie occupent des proportions similaires considérant l'ensemble des articles publiés par des géographes.

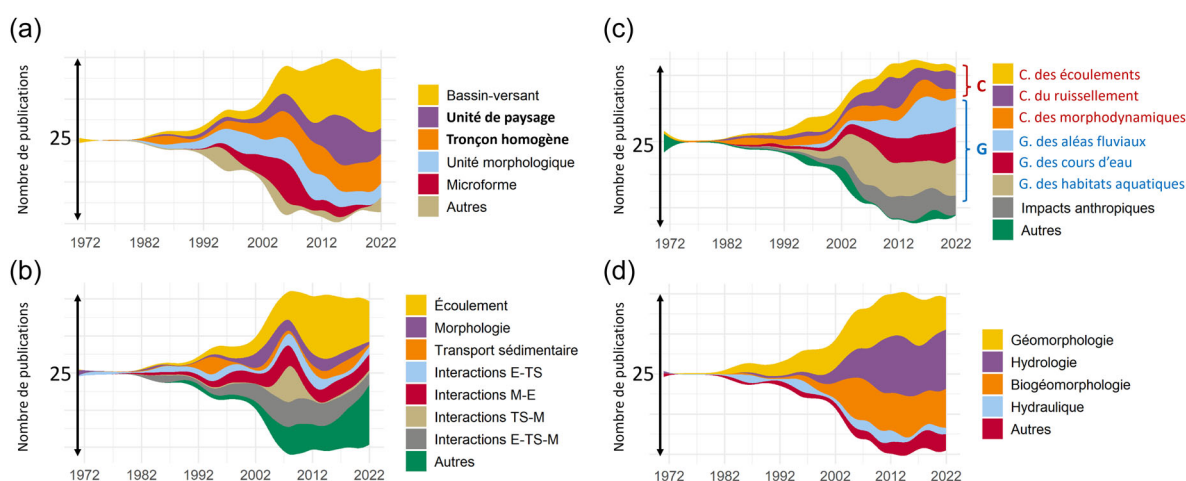


FIGURE 7 Évolution de la proportion relative des publications de géographes du Québec en lien avec des composantes de l'hydrogéomorphologie selon (a) l'échelle d'analyse, (b) les composantes de la trinité fluviale, (c) la finalité et (d) la discipline.

DES VISÉES EN RECHERCHE ET EN INTÉGRATION DES CONNAISSANCES POUR L'HYDROGÉOMORPHOLOGIE AU QUÉBEC

L'analyse de la trajectoire des travaux universitaires portant sur l'une des composantes de l'hydrogéomorphologie fait ressortir une production effervescente provenant d'équipes de recherche en géographie ainsi qu'une grande diversité de thématiques et de motivations en recherche. À l'instar des analyses de Wohl (2014) et Piégay et al. (2015), il y a aujourd'hui annuellement près de 3 fois plus d'articles en hydrogéomorphologie par des géographes qu'avant les années 2000. L'analyse des publications des cinquante dernières années et les interactions vécues cette dernière décennie avec les universitaires, gestionnaires et ministères utilisateurs de la connaissance nous permettent de proposer quatre visées thématiques porteuses de défis dans le monde universitaire et d'applicabilités disciplinaires de ce champ de recherche au Québec.

La première visée en recherche concerne la poursuite et le développement d'une meilleure compréhension de l'évolution de la morphologie des cours d'eau du Québec. La trajectoire historique utilisant des tracés fluviaux multi-dates permet de décrire l'évolution de la morphologie des cours d'eau (Burge et Lapointe, 2005; Vadnais et al., 2012). Or, pour expliquer et prédire cette évolution, une connaissance approfondie des processus la contrôlant est nécessaire. Nous voyons trois types de processus clefs contrôlant cette évolution pour les cours d'eau du Québec. Le premier type concerne la mobilisation des sédiments et la variabilité des taux de transport intégrant la caractérisation et la quantification des facteurs contribuant aux flux de sédiments. Church (2010) identifiait d'ailleurs une meilleure appréciation des lois régissant le transport des sédiments et une quantification plus exacte des flux de sédiments comme des orientations fondamentales sur lesquelles devait se pencher la géomorphologie. L'évaluation des taux de transport demeure l'une des composantes de la dynamique fluviale la plus difficile à quantifier et à anticiper (Deal et al., 2023; Recking et al., 2012). Cette difficulté provient à la fois de l'évaluation des critères hydrauliques et morphologiques influençant la mobilité des particules, mais aussi de la relation étroite qui existe entre les taux de transport à l'échelle des tronçons fluviaux et l'activation des sources de sédiments à l'échelle des bassins-versants (Lisenby et al., 2020). L'analyse des articles souligne un nombre relativement restreint d'études portant sur des mesures de taux de transport en charge de fond (Lamarre et al., 2005; Talbot et Lapointe, 2002) et un nombre encore plus restreint d'études liant ces taux de transport à la caractérisation des sources de sédiments à l'échelle du bassin-versant pour mieux cerner les facteurs régissant les flux de sédiments. Plusieurs systèmes fluviaux du Québec comportent des charges significatives de sédiments contribuant à leur évolution, par exemple dans les Appalaches (Maltais et al., 2022), alors que d'autres systèmes sont susceptibles de recevoir davantage de sédiments selon des scénarios de changements environnementaux liés à l'utilisation du sol ou à l'évolution du climat, comme c'est le cas notamment dans les environnements nordiques (Jolivel et Allard, 2017). Les liens sédimentaires (Davey et Lapointe, 2007) et la connectivité hydrosédimentaire (Jautzy et al., 2021) constituent des cadres d'analyse et des outils de quantification pour mieux cerner les liens entre l'évolution des morphologies et les sources de sédiments. Au Québec, relativement peu d'études ont abordé ces considérations, bien qu'elles soient essentielles pour comprendre les morphodynamiques fluviales. Plus particulièrement, les relations unissant le taux de transport et l'activation des sources de sédiments permettent de mieux cerner la mobilité des cours d'eau, mais aussi leur sensibilité aux perturbations environnementales (Fryirs, 2017; Lisenby et al., 2020).

Le deuxième type de processus concerne l'intégration du vivant dans la compréhension de l'évolution des systèmes fluviaux selon les principes de la biogéomorphologie (Viles, 2020). La biogéomorphologie s'intéresse aux interactions entre les processus, les morphologies et les organismes vivants qui façonnent les paysages car ceux-ci peuvent modifier la nature des processus et jouer un rôle significatif sur l'évolution des formes. Dans les cours d'eau, plusieurs travaux ont analysé le rôle de la végétation (Corenblit et al., 2007; Gurnell et al., 2012), des poissons et organismes benthiques (Rice, 2021) et des mammifères dont particulièrement les castors (Larsen et al., 2021) sur la mobilité des sédiments et l'évolution morphologique. Au Québec, la majorité des études portant sur une composante de la biogéomorphologie s'est concentrée sur des relations unidirectionnelles des formes et processus fluviaux vers les caractéristiques des habitats aquatiques (Assani, 2021; Choné et Biron, 2016; Payne et Lapointe, 1997) ou vers le développement de cadres d'analyse pour l'écologie fluviale, dont le concept de Riverscape (Bergeron et Carboneau, 2012; Torgersen et al., 2022), mais très peu se sont penchées sur l'influence des organismes sur l'évolution des cours d'eau. Quelques études se sont intéressées au rôle de la végétation sur la géométrie des sections transversales (Bergeron et Roy, 1985; Matte et al., 2022), aux dynamiques du bois mort en rivière (Boivin et al., 2017; Massé et Buffin-Bélanger, 2016) ou à l'impact des castors sur les milieux fluviaux (Bérubé et Boivin, 2021), mais l'analyse de la contribution des organismes vivants à l'atténuation ou l'amplification des processus hydrogéomorphologique demeure limitée.

Le troisième type de processus concerne le rôle des dynamiques fluvio-glacielles dans l'évolution des cours d'eau. Les rivières sur l'ensemble du territoire québécois subissent des hivers froids produisant une gamme de processus impliquant la cristallisation, le transport et les morphologies glacielles. Ces processus font partie de la dynamique fluviale et doivent être considérés pour mieux expliquer l'évolution des cours d'eau et pour mieux les gérer. Bien que l'on reconnaisse le rôle que peuvent jouer ces processus sur l'érosion des berges et du lit des rivières (Allard et al., 2011; Chassiot et al., 2020; Morin et al., 2015; Tremblay et al., 2014), sur l'inondabilité des plaines alluviales (Boucher et al., 2009; Ouellet et al., 2012) et sur la structure des communautés végétales (Matte et al., 2022), il existe encore peu d'études ayant caractérisé et quantifié ce rôle. De telles connaissances deviennent critiques dans le contexte où les changements climatiques contribuent à la modification des régimes thermiques et des dynamiques fluvio-glacielles des rivières méridionales du Québec, mais aussi et surtout des rivières plus nordiques où

les changements sont davantage opérants (Aygün et al., 2020). L'analyse des articles expose non seulement le nombre limité d'études portant sur les dynamiques fluvio-glacielles, mais aussi le peu d'études menées dans les rivières du nord du Québec.

Une deuxième visée de l'hydrogéomorphologie concerne plus spécifiquement le développement d'une posture universitaire davantage ancrée dans les réalités sociale, économique et culturelle dans lesquelles évoluent les cours d'eau. L'hydrogéomorphologie est une discipline dont les connaissances sont au cœur de la gestion des cours d'eau et qui s'intéresse fortement aux impacts directs et indirects des activités anthropiques sur les dynamiques fluviales (Hooke, 2020). Hétu (2001), Piégay et Roy (2006) et Dubois et Provencher (2010) révélaient déjà que les géomorphologues seraient appelés à jouer un rôle de plus en plus important dans les programmes de gestion et de prévention des risques naturels. Il semble aujourd'hui que les hydrogéomorphologues du Québec aient identifié ce créneau puisqu'un nombre important d'études ont comme finalité la gestion des cours d'eau et des risques fluviaux et que plusieurs publications proposent des outils et concepts de gestion durable des cours d'eau (Biron et al., 2014). Malgré cette tendance, il demeure que l'hydrogéomorphologie pratiquée au Québec a peu développé sa posture épistémologique pour renforcer son rôle, clarifier ses contributions ou orienter ses influences potentielles sur l'évolution des cours d'eau. Les réflexions sur de telles postures ne sont pas nouvelles. Beroutchachvili et Bertrand (1978), par exemple, ont présenté définitions et applicabilité théorique du concept de géosystème. Influencés par les travaux de géographes russes, ces deux géographes ont proposé une réflexion sur le développement du concept de géosystème intégrant davantage la dimension humaine en reconnaissant qu'il résulte à la fois d'une *structure naturelle fonctionnelle* et d'un *travail social*. Le géosystème comporte ainsi trois types de composantes (abiotique, biotique et anthropique) dont les interfaces et interactions définissent la structure et l'état de ce *système territorial naturel*. Dans la lignée du système fluvial de Schumm (1977) et du constat du rôle marqué de l'humain sur l'évolution de ces systèmes (Church, 2010; Slaymaker, 2009), un tel cadre conceptuel pourrait être adapté et approfondi par l'hydrogéomorphologie pour définir les bases de l'analyse et de la compréhension des *géosystèmes fluviaux*. Plus récemment et dans le même ordre d'idées, la sociogéomorphologie proposée par Ashmore (2015) expose une posture dans laquelle les rivières font partie d'un système humain et physique qu'il appelle « socio-nature ». Il propose notamment que le contexte local joue un rôle dans la création d'une socio-nature et que celle-ci suive une trajectoire dépendante des interactions réciproques entre les communautés humaines et leur(s) rivière(s). Cette approche met de l'avant une « coévolution des systèmes naturels et humains » (Ashmore, 2015). Le concept de *géosystème fluvial* et la sociogéomorphologie témoignent d'une géographie physique critique proposant une plus grande réflexivité de la discipline quant à son rôle dans les choix sociétaux qui impactent l'évolution et l'étude même de ces systèmes (Tadaki, 2020). L'hydrogéomorphologie, en reconnaissant davantage les interactions entre les actions et les gouvernances des sociétés sur l'évolution des cours d'eau, peut ainsi se positionner comme une science fondamentale des *géosystèmes fluviaux* (Bernier et al., 2021; Gariépy-Girouard et al., 2023).

Une troisième visée repose sur le développement d'outils pour permettre la prise de décision en lien avec la gestion des cours d'eau. Notre analyse expose qu'à l'instar de la géomorphologie (Church, 2010; Goudie et al., 2022; Hooke, 2020) et plus spécifiquement de l'hydrogéomorphologie (Piégay et al., 2015; Wohl, 2014), l'hydrogéomorphologie au Québec chemine vers une science de plus en plus appliquée tout en conservant des intérêts pour des questions de recherches fondamentales. En rappelant que la géomorphologie n'est pas une science exacte, Hooke (2020) souligne tout de même la nécessité de la discipline d'offrir des réponses aussi claires que nuancées à des questions faisant appel à la complexité et la variabilité des processus opérants en géomorphologie. La crédibilité de la discipline provient ainsi de la capacité de cette dernière à fournir des réponses ou à tout le moins des solutions qui arriment la réalité des services qu'offrent les dynamiques fluviales aux souhaits et désirs des sociétés. Nous envisageons ici trois groupes d'outils à considérer pour promouvoir les contributions de la discipline à la gestion des cours d'eau. Le premier groupe concerne les outils pour les mesures et les observations sur le terrain. L'hydrogéomorphologie doit poursuivre le développement d'outils pour la caractérisation des dynamiques et morphologies fluviales dans toutes les composantes, incluant la quantification des écoulements et la mesure du transport des sédiments, tout en explorant des méthodes innovantes comme la PIV (Particle Image Velocimetry) (Daigle et al., 2013), ou l'utilisation des transpondeurs passifs (Lamarre et al., 2005) et actifs (Cassel et al., 2017). Elle doit aussi explorer et adapter des outils développés dans d'autres contextes géographiques, dont par exemple les outils de diagnostics fluviaux permettant de reconnaître les indicateurs de l'état des cours d'eau et de mieux anticiper leur évolution (Lemay et al., 2021). Le second groupe concerne les outils de caractérisation des cours d'eau à partir des bases de données géospatiales comme les LiDAR (topographique et bathymétrique), les imageries par drone et les images satellitaires de différents capteurs permettant de caractériser les cours d'eau à haute résolution spatiale et temporelle pour mieux cerner leur évolution et anticiper les changements (Bergeron et Carbonneau, 2012; Biron et al., 2013; Montané et al., 2017; Westoby et al., 2012). Le dernier groupe concerne les modélisations hydrologiques et hydrodynamiques permettant de réaliser des études d'évolution selon des scénarios d'aménagement, mais aussi de réaliser des analyses de sensibilité des systèmes fluviaux selon des perturbations et des aménagements prévus (Lehner et Grill, 2013; Verhaar et al., 2011). Inévitablement, ces trois groupes d'outils et les vastes données qu'ils génèrent s'ouvriront aux bénéfices et à la puissance de l'apprentissage automatique et de l'intelligence artificielle qui, déjà, proposent des applications en hydrogéomorphologie (Boothroyd et al., 2021; Gonzales-Inca et al., 2022).

Une dernière visée de l'hydrogéomorphologie aborde plus spécifiquement l'évolution et la place de la discipline dans le contexte académique et professionnel du Québec. Plusieurs articles pointent vers une meilleure intégration de concepts en hydrogéomorphologie dans la gestion des cours d'eau (Biron et al., 2018) alors que d'autres proposent des méthodes et approches de gestion intégrant clairement des concepts de l'hydrogéomorphologie, comme par exemple l'espace de liberté des rivières pour l'aménagement du territoire (Biron et al., 2014) ou encore les

trajectoires hydrogéomorphologique pour la gestion des aléas (Buffin-Bélanger et al., 2017; Plante Lévesque et al., 2019) et des aménagements fluviaux (Bernier et al., 2021; Bouchard et Boivin, 2023). Ces contributions illustrent au passage des lacunes dans les connaissances utilisées au Québec pour la gestion des cours d'eau par rapport à d'autres provinces et pays où l'hydrogéomorphologie fait partie des connaissances de base pour cette gestion et ce depuis longtemps (Hooke, 2020).

Le manque de reconnaissance de l'hydrogéomorphologie au Québec est certainement multifactoriel. Il peut provenir en partie d'une période de développement de l'hydrogéomorphologie d'abord orientée sur des connaissances fondamentales et laissant peu de place au développement d'outils d'aide à la gestion. Cela peut aussi provenir d'un nombre relativement limité de professionnels formés dans ce domaine ce qui nuit à la mobilisation des connaissances dans les ministères et dans les firmes de consultants. Le fait que l'hydrogéomorphologie ne soit enseignée presque uniquement dans les programmes de géographie limite aussi le nombre de professionnels formés. L'absence d'un ordre professionnel ou encore d'une association faisant la promotion de la contribution des hydrogéomorphologues à la gestion des cours d'eau, comme c'est le cas dans les autres provinces (par exemple, l'APGO ou Association of Professional Geoscientists of Ontario), et assurant une formation minimale homogène d'une institution à l'autre peut aussi jouer sur le manque de reconnaissance de la discipline. Finalement, l'absence d'outils législatifs favorisant le recours à ces connaissances pour l'éclairage des décisions en lien avec la gestion et la restauration des cours d'eau n'a pas non plus favorisé le besoin de la connaissance et de professionnels formés en ce sens comme c'est le cas en Europe avec la Directive-cadre sur l'eau (2000/60/CE) par laquelle, notamment, la notion de continuité sédimentaire implique une intégration des connaissances en hydrogéomorphologie.

Cependant, les dernières années font clairement ressortir un nombre croissant d'articles ciblant des enjeux de gestion des cours d'eau (Hanna et al., 2021; Hugue et al., 2015; Paradis et Biron, 2017) ou présentant des recensions des écrits cristallisant les connaissances (Chassiot et al., 2020; Torgersen et al., 2022; Turcotte et al., 2011), ce qui renforce le rôle grandissant que peut jouer les composantes de l'hydrogéomorphologie dans la gestion des cours d'eau. Aussi, un plus grand nombre de professionnels hydrogéomorphologues se retrouvent aujourd'hui dans les ministères et les firmes de consultants. Une consultation de collègues dans différents ministères nous indique que plus d'une dizaine d'hydrogéomorphologues ont été embauchés depuis les années 2010 ce qui est, à l'échelle du Québec, significatif pour la discipline. Finalement, des outils de gouvernance ou législatifs sont récemment apparus, comme l'intégration de l'espace de liberté au Plan de protection du territoire face aux inondations (Gouvernement du Québec, 2020) ou encore l'article 331 concernant la réalisation d'avis de mobilité des cours d'eau (Q-2, r.17.1 – Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement).

Plusieurs catastrophes liées à la dynamique des cours d'eau sont survenues dans les 20 dernières années dont les crues torrentielles à Rivière-au-Renard en 2007 et à Baie-Saint-Paul en 2023 ainsi que les inondations du Richelieu en 2011 et dans les régions de Gatineau-Montréal en 2017, 2019 et 2023. Ces événements ont constitué et constituent des marqueurs de progression de l'acceptabilité sociale des bénéfices d'une plus large intégration des connaissances en hydrogéomorphologie pour la gestion des corridors fluviaux. Cette intégration requiert de la part des chercheurs une capacité d'allier la recherche fondamentale à des aspects plus appliqués liés aux enjeux, mais aussi une nécessité d'arrimage aux chercheurs en sciences sociales puisque par définition ces catastrophes affectent des communautés et que les solutions ne peuvent pas qu'être basées sur des sciences naturelles du système fluvial. Ce constat rehausse la pertinence et le rôle des géographes pour concrétiser cette intégration.

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons examiné l'évolution de la contribution de géographes œuvrant dans les départements/programmes de géographie du Québec à la discipline de l'hydrogéomorphologie pour la période 1972-2022. L'analyse de 475 articles scientifiques pour cette période expose l'augmentation marquée de leur nombre depuis le passage des années 2000, mais aussi la diversification des échelles d'analyse, l'enrichissement des collaborations et la complémentarité des points de vue favorisant une compréhension holistique des systèmes fluviaux. Cette analyse indique aussi le passage d'une science fondamentale à une science où le fondamental supporte le développement d'outils et de connaissances pour une plus grande applicabilité de la discipline et une plus grande implicabilité des géographes.

Cette analyse nous permet d'exposer des visées en recherche et en intégration des connaissances pour la discipline. Ces visées concernent le développement de connaissances – dont la dynamique du transport des sédiments, la biogéomorphologie et les dynamiques fluvio-glacielles des milieux froids – et des cadres et outils d'analyse (terrain, drone, LiDAR, SIG, etc.) porteurs en lien avec l'évolution des cours d'eau. L'une de ces visées encourage la réflexion autour d'une posture académique ancrée dans la réalité socio-économique des cours d'eau et s'inscrivant dans les considérations de la sociogéomorphologie et de la géographie physique critique. Une dernière visée supporte la poursuite d'une intégration des connaissances et des outils émanant de l'hydrogéomorphologie dans la pratique et la législation des organes de gestion des cours d'eau pour assurer une gamme de services écosystémiques et de sécurité publique liée au fonctionnement des cours d'eau.

L'hydrogéomorphologie et le cortège de connaissances et d'outils qu'elle véhicule font de cette discipline un partenaire clé pour une gestion holistique et durable des cours d'eau. Après plus de 50 ans de contributions des géographes du Québec à cette discipline, il apparaît qu'elle est de plus en plus mobilisée, ce qui est prometteur pour le bien-être de nos cours d'eau et de nos sociétés.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les trois personnes évaluatrices pour leurs commentaires pertinents et leurs suggestions constructives qui ont grandement amélioré la qualité et la clarté du texte. Nous désirons également remercier l'ensemble de nos équipes de recherche et de nos collègues des ministères qui ont contribué et contribuent toujours à forger nos motivations pour améliorer la contribution de l'hydrogéomorphologie à la gestion durable des cours d'eau au Québec.

ORCID

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

REFERENCES

- 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>
- Ashmore, P. (2015). Towards a sociogeomorphology of rivers. *Geomorphology*, 251, 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.02.020>
- Assani, A., Lajoie, F. et Laliberté, C. (2007). Impacts des barrages sur les caractéristiques des débits moyens annuels en fonction du mode de gestion et de la taille des bassins versants au Québec. *Revue des sciences de l'eau*, 20(1), 127–146. <https://doi.org/10.7202/015741ar>
- Assani, A. A. (2021). The influence of the characteristics of geomorphological deposits on terrestrial plant species richness in the low flow channel downstream from an inversion-type reservoir. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 28(2), 1–12. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2021.28.556232>
- Aygun, O., Kinnard, C. et Campeau, S. (2020). Impacts of climate change on the hydrology of northern midlatitude cold regions. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 44(3), 338–375. <https://doi.org/10.1177/0309133319878123>
- Babar, M. (2005). *Hydrogeomorphology: Fundamentals, applications and techniques*. Pitam Pura.
- Ballais, J.-L., Chave, S., Dupont, N., Masson, É. et Penven, M.-J. (2011). La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables. *Physio-Géo*, 5. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.3307>
- Bergeron, N. (1996). Scale-space analysis of stream-bed roughness in coarse gravel-bed streams. *Mathematical Geology*, 28(5), 537–561. <https://doi.org/10.1007/BF02066100>
- Bergeron, N. et Carbonneau, P. E. (2012). Geosolar: Innovative remote sensing methods for spatially continuous mapping of fluvial habitat at riverscape scale. Dans P. E. Carbonneau et H. Piégay (dir.), *Fluvial remote sensing for science and management* (pp. 193–213). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119940791.ch9>
- Bergeron, N. et Roy, A. (1985). Le rôle de la végétation sur la morphologie d'un petit cours d'eau. *Géographie physique et Quaternaire*, 39(3), 323–326. <https://doi.org/10.7202/032613ar>
- Bernier, J.-F., Chassiot, L. et Lajeunesse, P. (2021). Assessing bank erosion hazards along large rivers in the Anthropocene: A geospatial framework from the St. Lawrence fluvial system. *Geomats, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 1584–1615. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1935333>
- Berouchachvili, N. et Bertrand, G. (1978). Le géosystème ou « système territorial naturel ». *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 49(2), 167–180. <https://doi.org/10.3406/rgpso.1978.3548>
- Bérubé, J. et Boivin, M. (2021). *Étude hydrogéomorphologique d'un cours d'eau influencé par des barrages de castor (Castor canadensis) et analyses des contraintes migratoires pour le saumon atlantique (Salmo salar) dans la rivière Ouelle* (Rapport déposé à OBAKIR). Université du Québec à Chicoutimi.
- Best, J. L. (1993). On the interactions between turbulent flow structure, sediment transport and bedform development: Some considerations from recent experimental research. Dans N. J. Clifford, J. R. French et J. Hardisty (dir.), *Turbulence: Perspectives on flow and sediment transfer* (pp. 61–92). John Wiley & Sons, Ltd.
- Biron, P. M., Buffin-Bélanger, T., Larocque, M., Choné, G., Cloutier, C.-A., Ouellet, M.-A., Demers, S., Olsen, T., Desjarlais, C. et Eyquem, J. (2014). Freedom space for rivers: A sustainable management approach to enhance river resilience. *Environmental Management*, 54(5), 1056–1073. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0366-z>
- Biron, P. M., Buffin-Bélanger, T. et Massé, S. (2018). The need for river management and stream restoration practices to integrate hydrogeomorphology. *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 62(2), 288–295. <https://doi.org/10.1111/cag.12407>
- Biron, P. M., Choné, G., Buffin-Bélanger, T., Demers, S. et Olsen, T. (2013). Improvement of streams hydro-geomorphological assessment using LiDAR DEMs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38(15), 1808–1821. <https://doi.org/10.1002/esp.3425>
- Biron, P., Roy, André G., Best, J. L. et Boyer, C. J. (1993). Bed morphology and sedimentology at the confluence of unequal depth channels. *Geomorphology*, 8(2), 115–129. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90032-W](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90032-W)
- Boivin, M., Buffin-Bélanger, T. et Piégay, H. (2017). Interannual kinetics (2010–2013) of large wood in a river corridor exposed to a 50-year flood event and fluvial ice dynamics. *Geomorphology*, 279, 59–73. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.010>
- Boothroyd, R. J., Williams, R. D., Hoey, T. B., Barrett, B. et Prasojo, O. A. (2021). Applications of Google Earth Engine in fluvial geomorphology for detecting river channel change. *WIREs Water*, 8(1), e21496. <https://doi.org/10.1002/wat2.1496>
- Bouchard, M. et Boivin, M. (2023). Dynamiques hydrogéomorphologiques historiques et actuelles d'une rivière perturbée par les activités de la drave et analyse des impacts d'un démantèlement de barrage. *Canadian Geographies/Géographies canadiennes*, 1–13. <https://doi.org/10.1111/cag.12851>
- Boucher, É., Bégin, Y. et Arseneault, D. (2009). Hydro-climatic analysis of mechanical breakups reconstructed from tree-rings, Necopastic watershed, northern Québec, Canada. *Journal of Hydrology*, 375(3), 373–382. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.027>
- Bravard, J.-P. et Petit, F. (1997). *Les cours d'eau, dynamique du système fluvial*. Armand Colin.
- Buffin-Bélanger, T., Demers, S. et Montané, A. (2017). Hydrogeomorphology: Recognition and evolution of the flood phenomenon. Dans F. Vinet (dir.), *Floods* (Vol. 1– Risk Knowledge, pp. 167–191). <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-268-7.50010-9>
- Buffin-Bélanger, T. et Roy, A. G. (1998). Effects of a pebble cluster on the turbulent structure of a depth-limited flow in a gravel-bed river. *Geomorphology*, 25(3), 249–267. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00062-2](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00062-2)

- Burge, L. M. et Lapointe, M. F. (2005). Understanding the temporal dynamics of the wandering Renous River, New Brunswick, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30(10), 1227–1250. <https://doi.org/10.1002/esp.1196>
- Carbonneau, P. E. et Bergeron, N. E. (2000). The effect of bedload transport on mean and turbulent flow properties. *Geomorphology*, 35(3), 267–278. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(00\)00046-5](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(00)00046-5)
- Carson, M. A. (1984). The meandering-braided river threshold: A reappraisal. *Journal of Hydrology*, 73(3), 315–334. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(84\)90006-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(84)90006-4)
- Carson, M. A. et Griffiths, G. A. (1985). Tractive stress and the onset of bed particle movement in gravel stream channels: Different equations for different purposes. *Journal of Hydrology*, 79(3), 375–388. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(85\)90067-8](https://doi.org/10.1016/0022-1694(85)90067-8)
- Carson, M. A. et Lapointe, M. F. (1983). The inherent asymmetry of river meander planform. *The Journal of Geology*, 91(1), 41–55. <https://doi.org/10.1086/628743>
- Cassel, M., Dépret, T. et Piégay, H. (2017). Assessment of a new solution for tracking pebbles in rivers based on active RFID. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(13), 1938–1951. <https://doi.org/10.1002/esp.4152>
- Charlton, R. (2007). *Fundamentals of fluvial geomorphology*. Routledge.
- Chassiot, L., Lajeunesse, P. et Bernier, J.-F. (2020). Riverbank erosion in cold environments: Review and outlook. *Earth-Science Reviews*, 207, 103231. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103231>
- Choné, G. et Biron, P. M. (2016). Assessing the relationship between river mobility and habitat. *River Research and Applications*, 32(4), 528–539. <https://doi.org/10.1002/rra.2896>
- Church, M. (2010). The trajectory of geomorphology. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 34(3), 265–286. <https://doi.org/10.1177/0309133310363992>
- Clément, P. (1974). La géomorphologie au Québec. *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 18(1), 65–71. <https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1974.tb00107.x>
- Corenblit, D., Tabacchi, E., Steiger, J. et Gurnell, A. M. (2007). Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. *Earth-Science Reviews*, 84(1), 56–86. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2007.05.004>
- Cudennec, C. et de Lavenne, A. (2015). Editorial: Hydrogeomorphology – a long-term scientific interface. *Hydrology Research*, 46(2), 175–179. <https://doi.org/10.2166/nh.2015.100>
- Daigle, A., Bérubé, F., Bergeron, N. et Matte, P. (2013). A methodology based on Particle image velocimetry for river ice velocity measurement. *Cold Regions Science and Technology*, 89, 36–47. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2013.01.006>
- Davey, C. et Lapointe, M. (2007). Sedimentary links and the spatial organization of Atlantic salmon (*Salmo salar*) spawning habitat in a Canadian Shield river. *Geomorphology*, 83(1), 82–96. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.011>
- Davis, W. M. (1899). The geographical cycle. *Geographical Journal*, 14(5), 481–504.
- De Serres, B., Roy, A. G., Biron, P. M. et Best, J. L. (1999). Three-dimensional structure of flow at a confluence of river channels with discordant beds. *Geomorphology*, 26(4), 313–335. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(98\)00064-6](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(98)00064-6)
- Deal, E., Venditti, J. G., Benavides, S. J., Bradley, R., Zhang, Q., Kamrin, K. et Perron, J. T. (2023). Grain shape effects in bed load sediment transport. *Nature*, 613(7943), 298–302. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05564-6>
- Demers, S., Olsen, T., Buffin-Bélanger, T., Marchand, J.-P., Biron, P. et Morneau, F. (2014). L'hydrogéomorphologie appliquée à la gestion de l'aléa d'inondation en climat tempéré froid : L'exemple de la rivière Matane (Québec). *Physio-Géo*, 8, 67–88. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.3813>
- Dubois, J.-M. M. et Provencher, L. (2010). Évolution de la géomorphologie depuis la fin du XIXe siècle. *Cahiers de géographie du Québec*, 54(151), 77–116. <https://doi.org/10.7202/044368ar>
- Enders, E. C., Buffin-Bélanger, T., Boisclair, D. et Roy, A. G. (2003). On the interaction of turbulent flow and feeding behaviour of juvenile Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Journal of Fish Biology*, 63(s1), 231. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2003.02161.x>
- Fryirs, K. A. (2017). River sensitivity: A lost foundation concept in fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(1), 55–70. <https://doi.org/10.1002/esp.3940>
- Gagnon-Poiré, A., Brigode, P., Francus, P., Fortin, D., Lajeunesse, P., Dorion, H. et Trottier, A.-P. (2021). Reconstructing past hydrology of eastern Canadian boreal catchments using clastic varved sediments and hydro-climatic modelling: 160 years of fluvial inflows. *Climate of the Past*, 17(2), 653–673. <https://doi.org/10.5194/cp-17-653-2021>
- Gariépy-Girouard, É., Buffin-Bélanger, T., Savard, M. et Biron, P. M. (2023). Histoire du canal Saint-Georges (Port-Menier, île d'Anticosti) et perspectives : La valorisation du patrimoine culturel par l'aménagement fluvial. *Le Naturaliste canadien*, 147(1), 114–125. <https://doi.org/10.7202/1098178ar>
- Gilbert, G. K. (1877). *Report on the geology of the Henry Mountains*. U.S. Government Printing Office. <https://doi.org/10.3133/70039916>
- Gilbert, G. K. (1914). *The transportation of debris by running water*. Geological Survey, Professional Paper 86. <https://pubs.usgs.gov/pp/0086/report.pdf>
- Goerl, R. F., Kobiyama, M. et Santos, I. (2012). Hidrogeomorfologia : Princípios, conceitos, processos e aplicações. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 13(2), 103–111. <https://doi.org/10.20502/rbg.v13i2.166>
- Gonzales-Inca, C., Calle, M., Croghan, D., Torabi Haghighi, A., Marttila, H., Silander, J. et Alho, P. (2022). Geospatial artificial intelligence (GeoAI) in the integrated hydrological and fluvial systems modeling: Review of current applications and trends. *Water*, 14(14), 2211. <https://doi.org/10.3390/w14142211>
- Goudie, A. S., Burt, T. P. et Viles, H. A. (2022). The global transformation of geomorphology. *Geological Society Memoir*, 58, 1–17. <https://doi.org/10.1144/M58-2021-37>
- Gouvernement du Québec. (2020). *Des solutions durables pour mieux protéger nos milieux de vie. Plan de protection du territoire face aux inondations*. <https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/plan-de-protection-du-territoire-face-aux-inondations>
- Gregory, K. J. (1979a). Fluvial geomorphology. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 3(2), 274–282. <https://doi.org/10.1177/030913337900300207>
- Gregory, K. J. (1979b). Hydrogeomorphology: How applied should we become? *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 3(1), 84–101. <https://doi.org/10.1177/030913337900300103>
- Gurnell, A. M., Bertoldi, W. et Corenblit, D. (2012). Changing river channels: The roles of hydrological processes, plants and pioneer fluvial landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers. *Earth-Science Reviews*, 111(1), 129–141. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.11.005>

- Gurnell, A. M., Rinaldi, M., Belletti, B., Bizzi, S., Blamauer, B., Braca, G., Buijse, A. D., Bussetini, M., Camenen, B., Comiti, F., Demarchi, L., García de Jalón, D., González del Tánago, M., Grabowski, R. C., Gunn, I. D. M., Habersack, H., Hendriks, D., Henshaw, A. J., Klösch, M., ... Ziliani, L. (2016). A multi-scale hierarchical framework for developing understanding of river behaviour to support river management. *Aquatic Sciences*, 78(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s00027-015-0424-5>
- Hanna, D. E. L., Lehner, B., Taranu, Z. E., Solomon, C. T. et Bennett, E. M. (2021). The relationship between watershed protection and water quality: The case of Québec, Canada. *Freshwater Science*, 40(2), 382–396. <https://doi.org/10.1086/714598>
- Héty, B. (2001). Une géomorphologie socialement utile : La question des risques naturels. Dans S. Laurin, J.-L. Klein et C. Tardif (dir.), *Géographie et société : Vers une géographie citoyenne* (pp. 61–92). Les Presses de l'Université du Québec.
- Hooke, J. M. (2020). Changing landscapes: Five decades of applied geomorphology. *Geomorphology*, 366, 106793. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.06.007>
- Hugue, F., Lapointe, M., Eaton, B. et Lepoutre, A. (2015). Satellite-based remote sensing of running water habitats at large riverscape scales: Tools to analyze habitat heterogeneity for river ecosystem management. *Geomorphology*, 253, 353–369. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.10.025>
- Jautzy, T., Maltais, M. et Buffin-Bélanger, T. (2021). Interannual evolution of hydrosedimentary connectivity induced by forest cover change in a snow-dominated mountainous catchment. *Land Degradation & Development*, 32(7), 2318–2335. <https://doi.org/10.1002/ldr.3902>
- Johnston, P., Bergeron, N. E. et Dodson, J. J. (2005). Assessment of winter size-selective mortality of young-of-the-year Atlantic salmon (*Salmo salar*) using otolith microstructure analysis. *Ecology of Freshwater Fish*, 14(2), 168–176. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2005.00089.x>
- Jolivel, M. et Allard, M. (2017). Impact of permafrost thaw on the turbidity regime of a subarctic river: The Sheldrake River, Nunavik, Quebec. *Arctic Science*, 3(2), 451–474. <https://doi.org/10.1139/as-2016-0006>
- Kim, M. et Lapointe, M. (2011). Regional variability in Atlantic salmon (*Salmo salar*) riverscapes: A simple landscape ecology model explaining the large variability in size of salmon runs across Gaspé watersheds, Canada. *Ecology of Freshwater Fish*, 20(1), 144–156. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2010.00471.x>
- Knighton, D. (1984). *Fluvial forms and processes*. E. Arnold.
- Kondolf, G. M. et Piégay, H. (2003). *Tools in fluvial geomorphology*. John Wiley & Sons.
- Lacey, R. W. J. et Roy, A. G. (2007). A comparative study of the turbulent flow field with and without a pebble cluster in a gravel bed river. *Water Resources Research*, 43(5), W05502. <https://doi.org/10.1029/2006WR005027>
- Lamarre, H., MacVicar, B. et Roy, A. G. (2005). Using passive integrated transponder (PIT) tags to investigate sediment transport in gravel-bed rivers. *Journal of Sedimentary Research*, 75(4), 736–741. <https://doi.org/10.2110/jsr.2005.059>
- Lamarre, H. et Roy, A. G. (2008). The role of morphology on the displacement of particles in a step-pool river system. *Geomorphology*, 99(1), 270–279. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.11.005>
- Larsen, A., Larsen, J. R. et Lane, S. N. (2021). Dam builders and their works: Beaver influences on the structure and function of river corridor hydrology, geomorphology, biogeochemistry and ecosystems. *Earth-Science Reviews*, 218, 103623. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103623>
- Leeder, M. R. (1983). On the interactions between turbulent flow, sediment transport and bedform mechanics in channelized flows. Dans J. D. Collinson et J. Lewin (dir.), *Modern and ancient fluvial systems* (pp. 3–18). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781444303773.ch1>
- Lehner, B. et Grill, G. (2013). Global river hydrography and network routing: Baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*, 27(15), 2171–2186. <https://doi.org/10.1002/hyp.9740>
- Lemay, J., Biron, P. M., Boivin, M., Stämpfli, N. et Foote, K. (2021). Can the Morphological Quality Index (MQI) be used to determine the ecological status of lowland rivers? *Geomorphology*, 395, 108002. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.108002>
- Leopold, L. B., Wolman, M. G. et Miller, J. P. (1964). *Fluvial processes in geomorphology*. W H Freeman & Company.
- Lisenby, P. E., Fryirs, K. A. et Thompson, C. J. (2020). River sensitivity and sediment connectivity as tools for assessing future geomorphic channel behavior. *International Journal of River Basin Management*, 18(3), 279–293. <https://doi.org/10.1080/15715124.2019.1672705>
- Mackin, J. H. (1948). Concept of the graded river. *GSA Bulletin*, 59(5), 463–512. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1948\)59\(463:COTGR\)2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1948)59(463:COTGR)2.0.CO;2)
- MacVicar, B. J. et Roy, A. G. (2011). Sediment mobility in a forced riffle-pool. *Geomorphology*, 125(3), 445–456. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.10.031>
- Malavoi, J.-R. et Bravard, J.-P. (2011). Éléments d'hydromorphologie fluviale. *Physio-Géo*, 5, 224. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.1532>
- Maltais, M., Buffin-Bélanger, T. et Boivin, M. (2022). Aléas fluviaux des cours d'eau mobiles dans l'Est du Québec. Dans T. Buffin-Bélanger, D. Maltais et M. Gauthier (dir.), *Les inondations au Québec* (pp. 59–86). Presses de l'Université du Québec.
- Massé, S. et Buffin-Bélanger, T. (2016). Understanding hydrogeomorphological dynamics and the distribution of large wood jams to promote sustainable river management strategies. *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 60(4), 505–518. <https://doi.org/10.1111/cag.12283>
- Massey, W., Biron, P. M. et Choné, G. (2017). Impacts of river bank stabilization using riprap on fish habitat in two contrasting environments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(4), Article 4. <https://doi.org/10.1002/esp.4010>
- Matte, R., Boivin, M. et Lavoie, C. (2022). Japanese knotweed increases soil erosion on riverbanks. *River Research and Applications*, 38(3), 561–572. <https://doi.org/10.1002/rra.3918>
- Mazouz, R., Assani, A. A., Quessy, J. F. et Légaré, G. (2012). Comparison of the interannual variability of spring heavy floods characteristics of tributaries of the St. Lawrence River in Quebec (Canada). *Advances in Water Resources*, 35, 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2011.10.006>
- Montané, A., Buffin-Bélanger, T., Vinet, F. et Vento, O. (2017). Mappings extreme floods with numerical floodplain models (NFM) in France. *Applied Geography*, 80, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.01.002>
- Morin, S., Boucher, E. et Buffin-Bélanger, 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, 2117–2138.
- Orme, A. J. (2013). 1.6 The mid-twentieth century revolution in geomorphology. Dans J. F. Shroder (dir.), *Treatise on geomorphology* (pp. 86–107). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00006-3>
- Ouellet, C., Saint-Laurent, D. et Normand, F. (2012). Flood events and flood risk assessment in relation to climate and land-use changes: Saint-François River, southern Québec, Canada. *Hydrological Sciences Journal*, 57(2), 313–325. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.645475>
- Ouellet Dallaire, C., Lehner, B. et Creed, I. (2020). Multidisciplinary classification of Canadian river reaches to support the sustainable management of freshwater systems. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 77(2), 326–341. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2018-0284>

- Païement-Paradis, G., Marquis, G. et Roy, A. (2011). Effects of turbulence on the transport of individual particles as bedload in a gravel-bed river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(1), 107–116. <https://doi.org/10.1002/esp.2027>
- Paradis, A. et Biron, P. M. (2017). Integrating hydrogeomorphological concepts in management approaches of lowland agricultural streams: Perspectives, problems and prospects based on case studies in Quebec. *Canadian Water Resources Journal/Revue canadienne des ressources hydriques*, 42(1), 54–69. <https://doi.org/10.1080/07011784.2016.1163241>
- Payne, B. A. et Lapointe, M. F. (1997). Channel morphology and lateral stability: Effects on distribution of spawning and rearing habitat for Atlantic salmon in a wandering cobble-bed river. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(11), 2627–2636. <https://doi.org/10.1139/f97-171>
- Piégay, H., Kondolf, G. M., Minear, J. T. et Vaudor, L. (2015). Trends in publications in fluvial geomorphology over two decades: A truly new era in the discipline owing to recent technological revolution? *Geomorphology*, 248, 489–500. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.07.039>
- Piégay, H. et Roy, A. (2006). Introduction : Les systèmes fluviaux, un thème cher aux géographes francophones. *Géographie Physique et Quaternaire*, 60(3), 213–214. <https://doi.org/10.7202/017917ar>
- 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>
- Recking, A., Liébault, F., Peteuil, C. et Jolimet, T. (2012). Testing bedload transport equations with consideration of time scales. *Earth Surface Processes and Landforms*, 37(7), 774–789. <https://doi.org/10.1002/esp.3213>
- Rice, S. P. (2021). Why so skeptical? The role of animals in fluvial geomorphology. *WIREs Water*, 8(6), e1549. <https://doi.org/10.1002/wat2.1549>
- Richards, K. (1982). *Rivers, form and process in alluvial channels*. Methuen.
- Robert, A. (2003). *River processes. An introduction to fluvial dynamics*. Routledge.
- Robert, A., Roy, A. G. et Serres, B. D. (1996). Turbulence at a roughness transition in a depth limited flow over a gravel bed. *Geomorphology*, 16(2), 175–187. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(95\)00143-5](https://doi.org/10.1016/0169-555X(95)00143-5)
- Roy, A. G. et Lamarre, H. (2011). Fluids, flows and fluxes in geomorphology. Dans K. J. Gregory et A. S. Goudie (dir.), *The Sage handbook of geomorphology* (pp. 310–325). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781446201053>
- Roy, A. G., Roy, R. et Bergeron, N. (1988). Hydraulic geometry and changes in flow velocity at a river confluence with coarse bed material. *Earth Surface Processes and Landforms*, 13(7), 583–598. <https://doi.org/10.1002/esp.3290130704>
- Saint-Laurent, D., Mesfioui, M. et Evin, G. (2009). Hydroclimatic variability and relation with flood events (Southern Québec, Canada). *Water Resources*, 36(1), 43–56. <https://doi.org/10.1134/S0097807809010047>
- Scheidegger, A. E. (1973). Hydrogeomorphology. *Journal of Hydrology*, 20(3), 193–215. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(73\)90061-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(73)90061-9)
- Schumm, S. A. (1977). *The fluvial system*. Wiley.
- Sidle, R. C. et Onda, Y. (2004). Hydrogeomorphology: Overview of an emerging science. *Hydrological Processes*, 18(4), 597–602. <https://doi.org/10.1002/hyp.1360>
- Slaymaker, O. (2009). The future of geomorphology. *Geography Compass*, 3(1), 329–349. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2008.00178.x>
- Tadaki, M. (2020). Critical physical geography. Dans A. Kobayashi (dir.), *International encyclopedia of human geography* (2nd ed. pp. 51–54). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B97800801022955107784>
- Talbot, T. et Lapointe, M. (2002). Modes of response of a gravel bed river to meander straightening: The case of the Sainte-Marguerite River, Saguenay Region, Quebec, Canada. *Water Resources Research*, 38(6), 1073. <https://doi.org/10.1029/2001WR000324>
- Torgersen, C. E., Le Pichon, C., Fullerton, A. H., Dugdale, S. J., Duda, J. J., Giovannini, F., Tales, É., Belliard, J., Branco, P., Bergeron, N. E., Roy, M. L., Tonolla, D., Lamouroux, N., Capra, H. et Baxter, C. V. (2022). Riverscape approaches in practice: Perspectives and applications. *Biological Reviews*, 97(2), 481–504. <https://doi.org/10.1111/brv.12810>
- Tremblay, P., Leconte, R., Jay Lacey, R. W. et Bergeron, N. (2014). Multi-day anchor ice cycles and bedload transport in a gravel-bed stream. *Journal of Hydrology*, 519(A), 364–375. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.06.036>
- Turcotte, B., Morse, B., Bergeron, N. E. et Roy, A. G. (2011). Sediment transport in ice-affected rivers. *Journal of Hydrology*, 409(1), 561–577. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.009>
- Vadnais, M.-È., Assani, A. A., Landry, R., Leroux, D. et Gratton, D. (2012). Analysis of the effects of human activities on the hydromorphological evolution channel of the Saint-Maurice River downstream from La Gabelle dam (Quebec, Canada). *Geomorphology*, 175–176, 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.07.010>
- Verhaar, P. M., Biron, P. M., Ferguson, R. I. et Hoey, T. B. (2011). Implications of climate change in the twenty-first century for simulated magnitude and frequency of bed-material transport in tributaries of the Saint-Lawrence River. *Hydrological Processes*, 25(10), Article 10. <https://doi.org/10.1002/hyp.17918>
- Viles, H. (2020). Biogeomorphology: Past, present and future. *Geomorphology*, 366, 106809. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.06.022>
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J. et Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
- Wohl, E. (2014). Time and the rivers flowing: Fluvial geomorphology since 1960. *Geomorphology*, 216, 263–282. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.04.012>

SUPPORTING INFORMATION

Additional supporting information can be found online in the Supporting Information section at the end of this article.

How to cite this article: Buffin-Bélanger, T., Lachapelle, F., Biron, P. et M. Boivin. (2024). Trajectoires et visées de l'hydrogéomorphologie au Québec. *Canadian Geographies / Géographies canadiennes*, 68, 196–211. <https://doi.org/10.1111/cag.12893>