



IdeAs
Idées d'Amérique

15 | 2020
Eau et gestion de l'eau dans les Amériques

Risques d'inondation et vulnérabilité : l'exemple du bassin versant de la rivière Kennebecasis, Nouveau-Brunswick, Canada.

Flood Hazards and Vulnerability: The example of the Kennebecasis River Watershed, New Brunswick, Canada.

Riscos de inundação e vulnerabilidade: o exemplo da bacia hidrográfica do rio Kennebecasis, New Brunswick, Canadá.

Guillaume Fortin, Charlotte Poirier, François Duhamel et Daniel Germain



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/ideas/7999>

DOI : 10.4000/ideas.7999

ISSN : 1950-5701

Éditeur

Institut des Amériques

Référence électronique

Guillaume Fortin, Charlotte Poirier, François Duhamel et Daniel Germain, « Risques d'inondation et vulnérabilité : l'exemple du bassin versant de la rivière Kennebecasis, Nouveau-Brunswick, Canada. », *IdeAs* [En ligne], 15 | 2020, mis en ligne le 01 mars 2020, consulté le 25 mars 2020. URL : <http://journals.openedition.org/ideas/7999> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ideas.7999>

Ce document a été généré automatiquement le 25 mars 2020.



IdeAs – Idées d'Amérique est mis à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Risques d'inondation et vulnérabilité : l'exemple du bassin versant de la rivière Kennebecasis, Nouveau-Brunswick, Canada.

Flood Hazards and Vulnerability: The example of the Kennebecasis River Watershed, New Brunswick, Canada.

Riscos de inundação e vulnerabilidade: o exemplo da bacia hidrográfica do rio Kennebecasis, New Brunswick, Canadá.

Guillaume Fortin, Charlotte Poirier, François Duhamel et Daniel Germain

Nous remercions M. Bernard Héту pour ses commentaires et suggestions sur la version antérieure du manuscrit.

Introduction

- 1 Selon la base de données EM-DAT (*Emergency Events Database*), l'occurrence des inondations répertoriées à l'échelle mondiale depuis les années 1960 a connu une hausse significative (Tanoue M. *et al.*, 2016). Cette tendance devrait se poursuivre et le nombre de gens qui habitent dans les zones inondables devrait tripler d'ici 2030 (Ward P.J. *et al.*, 2013). Cette augmentation, observée aussi au Canada, inquiète puisque les inondations représentent le risque naturel le plus fréquent (Sécurité publique Canada, 2015). Les dommages imputables aux inondations en font d'ailleurs le risque naturel le plus coûteux (Story, 2016), auquel s'ajoutent en moyenne une centaine de décès et de nombreux sinistrés annuellement (Keller E.A. *et al.*, 2008). Les inondations, par leurs causes et leurs conséquences variables, représentent donc un défi majeur d'adaptation pour les communautés touchées. Au cours des dernières années, plusieurs provinces canadiennes dont le Québec et le Nouveau-Brunswick (N.-B.) ont été durement touchées par les inondations. Ces catastrophes naturelles ont toutefois permis de sensibiliser les

divers paliers de gouvernements à investir davantage de ressources pour développer et mettre en place des stratégies d'adaptation et des plans de gestion pour réduire la vulnérabilité des populations à risque. Le risque étant ici défini de manière générale par le croisement de l'aléa et la vulnérabilité (parfois aussi appelé enjeu). L'aléa correspond à un événement météorologique généralement de forte intensité, lequel peut se traduire en une forte pluie ou une fonte rapide du couvert de neige dans le cas des inondations. La vulnérabilité, comme nous le verrons dans les sections à venir, est un terme parfois galvaudé en vertu de ses nombreuses définitions (Wisner B. *et al.*, 2003 ; Cutter S.L. 1996 ; Veyret Y. et M. Reghezza, 2006).

- 2 Les connaissances actuelles et les progrès technologiques offrent aux décideurs et aux populations de plus en plus d'outils (nombreux modèles hydrologiques et hydrauliques) et d'informations utiles (données géospatiales à haute résolution) pour optimiser la gestion et l'aménagement sécuritaire du territoire (Metzger R. 2003). La demande croissante pour des connaissances de pointe issues de la recherche scientifique s'explique notamment par une forte hausse démographique, laquelle s'accompagne par la densification des zones urbaines et périurbaines dont plusieurs sont situées au sein de zones inondables à des fréquences variées. Pourtant, il existe des outils pour aider à mieux comprendre, gérer et appréhender le risque d'inondation, notamment la cartographie des zones inondables qui est fréquemment utilisée pour assurer la gestion sécuritaire des villes et des municipalités situées dans les zones sensibles. L'utilisation des informations cartographiques peut alors servir à mettre en place des mesures d'atténuation et d'adaptation appropriées face aux risques d'inondation et ce, dans un contexte de changements climatiques. Le réchauffement climatique récent a d'ailleurs des impacts indéniables sur le régime hydrologique. On note une modification de la fréquence, de l'intensité et du type de précipitations, ce qui se traduit par une variabilité accrue du régime des inondations. Au cours des dernières années, plusieurs localités canadiennes ont été affectées sur une base récurrente. Pourtant, ces mêmes communautés ont encore aujourd'hui du mal à s'adapter en raison d'un manque de connaissances scientifiques quant aux causes et caractéristiques des inondations. Or, ce constat paradoxal complique le rôle des décideurs, d'autant plus que la dimension humaine (vulnérabilité, résilience, adaptation, etc.) du risque d'inondation demeure encore peu documentée. Il va sans dire qu'il s'agit là d'un défi sérieux pour une saine gestion du territoire face aux inondations.
- 3 Thiault *et al.* (2018) soulignent notamment le besoin de cartographier de manière intégrée les dimensions socio-environnementales afin de fournir des informations pertinentes aux communautés et aux décideurs et ce, dans le but d'identifier et de prioriser les interventions en gestion. Si l'utilisation d'infrastructures rigides de protection (digues, barrages, etc.) était la norme dans le passé, à partir de 1950, ces dernières se sont néanmoins montrées peu efficaces et coûteuses sur le long terme (Jousseume V. *et al.*, 2004 ; Jellet M., 2017). C'est pour cette raison, mais également suite à une prise de conscience environnementale collective, que des efforts importants sont consentis aujourd'hui pour valoriser la conservation des écosystèmes qui peuvent servir à atténuer les inondations. Au Canada, des projets tels que le *Municipal Natural Assets Initiative* ou MNAI (ICF, 2018) ont été mis en place dans plusieurs régions. Ce type de projets privilégie des approches basées sur la conservation et la valorisation des services écosystémiques, lesquels offrent de multiples bénéfices à long terme pour les communautés tout en permettant de réduire les coûts de construction et d'entretien

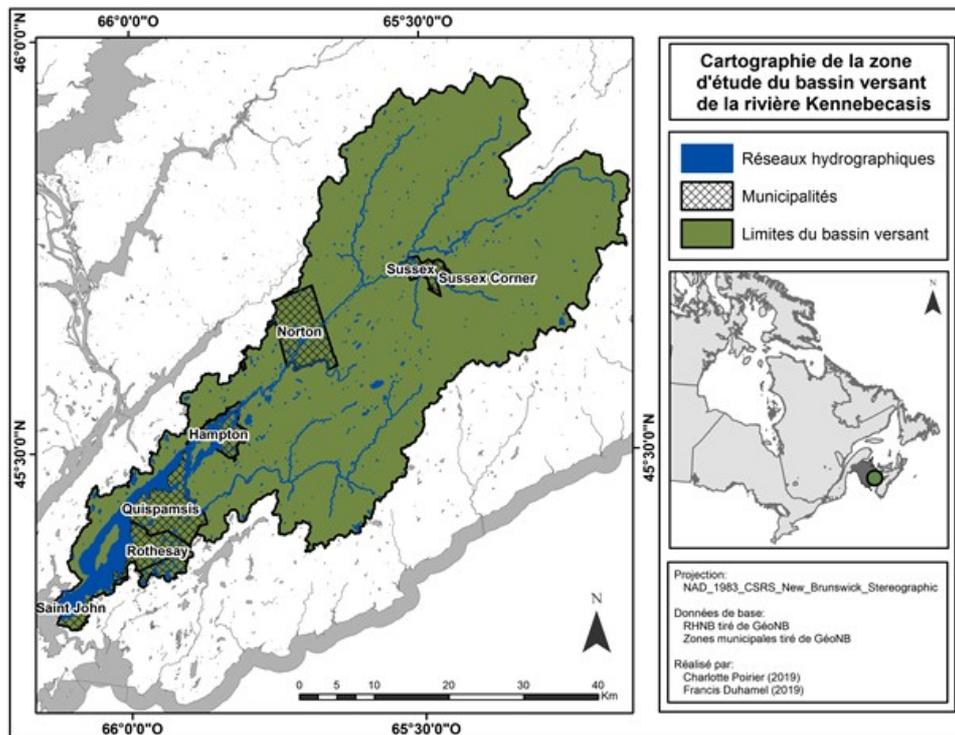
des infrastructures. L'objectif relié à cette prise de conscience tournée vers un aménagement environnemental et durable est évidemment de réduire la vulnérabilité des populations et ainsi améliorer leur qualité de vie tout en préservant l'intégrité écologique des milieux sensibles.

- 4 Le but du présent article est donc de partager une réflexion à propos des concepts de vulnérabilité et de perception du risque dans le cadre des inondations. Le bassin versant de la rivière Kennebecasis, situé dans le sud du Nouveau-Brunswick au Canada, est utilisé pour illustrer nos propos à l'effet que ces concepts peuvent contribuer de manière significative à une meilleure gestion du risque d'inondation à l'échelle d'un bassin versant.

Le risque d'inondation au Nouveau-Brunswick

- 5 La majorité des cartes des zones inondables de la province du N.-B. ont été réalisées dans les années 1980, ce qui explique l'urgence de procéder rapidement à leur mise à jour. Pourtant, le risque d'inondation n'est pas un phénomène récent car depuis 1854, ce sont plus de 50 inondations majeures, et donc incluses dans la base de données provinciales, qui ont été répertoriées dans la région de Sussex dans le bassin versant de la rivière Kennebecasis (figure 1), un tributaire du fleuve Saint-Jean (GNB, 2019). Le fleuve Saint-Jean constitue le plus grand cours d'eau de la province et la principale zone à risque d'inondation. On estime que les deux tiers des coûts des dommages sont reliés aux inondations printanières et aux embâcles de glace. À titre d'exemples, les inondations du printemps 2018 sont survenues suite à une fonte rapide d'un épais couvert de neige et les dommages ont été estimés à près de 80 millions de dollars canadiens (\pm 53,9 millions d'Euros). Les dégâts liés aux inondations du printemps 2019 ont été chiffrés à 23,3 millions de dollars canadiens (\pm 15,7 millions d'Euros) (Radio-Canada, 2019). D'autre part, les inondations qui se produisent à l'automne résultent généralement plutôt de pluies abondantes issues des tempêtes post-tropicales en provenance de la côte est américaine.
- 6 Les causes anthropiques comme la modification de l'occupation et l'utilisation du territoire peuvent aussi contribuer à l'accroissement du risque d'inondation. L'imperméabilisation des surfaces associée à l'étalement urbain, la modification du réseau de drainage, l'absence de législation stricte encadrant la conservation des zones riveraines et des milieux humides, et la forte pression foncière sur ces milieux, sont autant de facteurs explicatifs de l'augmentation des conséquences sociales et financières des inondations. En regard des scénarios prospectifs des changements climatiques (augmentation moyenne de 10 % des précipitations), une gestion intégrée du risque d'inondation à l'échelle régionale s'avère essentielle afin de réduire la vulnérabilité des communautés néobrunswickoises (Jellet M., 2017).

Figure 1 Carte de localisation du bassin versant de la rivière Kennebecasis dans le sud de la province du Nouveau-Brunswick.



- 7 Le bassin versant de la rivière Kennebecasis est situé dans le sud-est de la province du Nouveau-Brunswick dans l'Est du Canada. Il occupe une superficie de 2056 km² et est composé de plusieurs tributaires dont la Trout Creek, soit le cours d'eau le plus problématique pour les inondations. Son profil en long se caractérise par un dénivelé de 360 m sur les 29,1 km de son tracé (Fortin G. *et al.*, 2018). Ce cours d'eau dynamique traverse les localités habitées de Sussex et Sussex Corner. Au cours des dernières décennies, ces deux petites localités ont subi des impacts socioéconomiques importants provoqués par les inondations récurrentes. Les dommages physiques directs (destruction de ponts et ponceaux, intrusion d'eau dans le sous-sol des bâtiments et maisons, érosion des berges) et indirects (pollution et contamination avec des hydrocarbures, des eaux usées, etc.) sont généralement bien quantifiés en termes de coûts économiques et environnementaux. En revanche, les impacts humains tels que le stress et l'anxiété demeurent plus difficiles à décrire et à quantifier. Plusieurs auteurs se sont néanmoins penchés sur cette dimension du risque et ont proposé, au fil des ans, des approches pour tenter d'identifier, de décrire et de comptabiliser ces impacts sur la population (santé mentale et physique par exemple).

La prise en compte nécessaire des enjeux sociaux

- 8 De manière générale, l'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité sont des dimensions moins développées que ne l'est celle de l'aléa (Birkman J., 2007). À l'échelle de la zone d'étude, des travaux en cours depuis 2015 ont lieu pour spatialiser l'aléa inondation d'un point de vue physique (Fortin G. *et al.*, 2018, 2019). Or, ne considérer que l'intensité et la fréquence des inondations ne procure qu'une vision fragmentaire

du risque. En effet, la matérialisation de celui-ci ne peut se faire que si la société est affectée. Le risque, souvent défini comme une probabilité, est donc issu autant des composantes sociale (vulnérabilité) que naturelle (aléa) (Cardona O.D. *et al.*, 2012 ; Szewrański S. *et al.*, 2018). De plus, les sociétés sont souvent considérées, à tort, comme des victimes passives condamnées à réparer les dégâts matériels causés aux infrastructures et ce, avant le prochain événement (Veyret Y. et M. Reghza, 2006). Pourtant, des inondations d'une même intensité peuvent avoir des effets très variables en fonction des territoires et de la période d'occurrence, dans la mesure où les caractéristiques du bâti évoluent avec le temps, modifiant ainsi l'exposition et la vulnérabilité des populations. Le N.-B. n'échappe pas à cette tendance et plusieurs zones inondables ont connu un développement anthropique important comme la région de Sussex. Le concept de risque, issu de la combinaison d'un aléa (événements) climatique ou météorologique et de l'exposition (vulnérabilité) de la population à cet aléa (Field C.B. *et al.*, 2012), montre la nécessité de considérer le volet humain dans l'équation afin de dresser un portrait réaliste du risque d'inondation.

Définition et portée du concept de vulnérabilité

- 9 Encore aujourd'hui, on note l'absence d'un consensus quant à la définition de la vulnérabilité, sans doute liée à son utilisation dans une pluralité de disciplines scientifiques (Birkmann J., 2005, 2007). Field *et al.* (2012) définissent la vulnérabilité comme étant la propension d'éléments exposés tels que les êtres humains, leurs moyens de subsistance et leurs actifs à subir des effets néfastes lorsqu'ils sont touchés par des événements dangereux. La vulnérabilité est donc liée aux susceptibilités, aux prédispositions, aux capacités d'adaptation et à la résilience (Birkmann J. *et al.*, 2013 ; Cardona O.D. *et al.*, 2012 ; Gallopín G.C., 2006). Les susceptibilités représentent les facteurs de prédisposition des enjeux face au risque, alors que la vulnérabilité constitue une situation préexistante à l'événement qui induit le risque, mais elle est également liée au rétablissement post-catastrophe.
- 10 La vulnérabilité peut donc être perçue ou appréhendée selon plusieurs dimensions : physique, économique, sociale et environnementale. La vulnérabilité physique ou matérielle représente la susceptibilité du cadre bâti à subir des dommages (Cardona O.D. *et al.*, 2012). La vulnérabilité économique réfère à la prédisposition, à savoir que la capacité de production d'un système soit perturbée par des dommages matériels et des perturbations liées à l'occurrence d'un aléa (Balica S. *et al.*, 2009). La vulnérabilité sociale se résume à « la propension au bien-être humain à être endommagé par la perturbation individuelle (santé mentale et physique) et collective (santé, services éducatifs, etc.) » (Birkmann J. *et al.*, 2013, p. 200). Cela se traduit par une incapacité à anticiper, résister ou se remettre des chocs et du stress issus d'un aléa (Blaikie P. *et al.*, 1994 ; Cutter S.L., 1996). On parle alors de l'absence de résilience. La vulnérabilité socioéconomique, elle, étudie les individus, les systèmes sociaux et leurs caractéristiques (genre, âge, marginalisation des groupes sociaux, etc.) (Cutter *et al.*, 2003). Enfin, la vulnérabilité environnementale s'intéresse au rôle des écosystèmes, leur dégradation face au risque et l'impact cumulatif sur la société. Elle représente aussi l'interrelation entre différents écosystèmes, leur capacité à faire face à des perturbations et se remettre suite à une diminution des ressources plus ou moins importante dans le temps et dans l'espace (Cardona O.D. *et al.*, 2012).

- 11 Plusieurs autres concepts peuvent aussi être associés à la vulnérabilité tels que la sensibilité, la capacité d'adaptation et la résilience. La sensibilité (ou susceptibilité) est la prédisposition d'éléments exposés et donc dommageables face au risque (Birkmann J. *et al.*, 2013). La capacité d'adaptation réfère à la capacité d'un système à s'adapter aux perturbations, à diminuer les dommages potentiels et à faire face aux conséquences des modifications qui surviennent (Gallopín G.C., 2006). La résilience correspond à la capacité d'un individu, d'une communauté ou d'un système humain à supporter divers changements résultant d'un aléa ou d'une perturbation et à se remettre dans un état fonctionnel au plan social, structurel, économique, politique, etc. (Gallopín G.C., 2006).
- 12 Wisner *et al.* (2003) rapportent d'ailleurs une évolution du concept de vulnérabilité au cours des dernières décennies ainsi qu'une augmentation de la littérature scientifique qui lui est consacrée. Néanmoins, force est de constater qu'encore aujourd'hui on note bien souvent l'absence de prise en compte des pertes immatérielles comme les dimensions historiques, psychologiques et culturelles. La vulnérabilité doit donc être utilisée au sens large du terme et ainsi intégrer les aspects sociaux tels que le patrimoine culturel, le sentiment d'appartenance, d'accomplissement et de satisfaction que procure par exemple un lieu de travail et de résidence. Par contre, une difficulté inhérente à la mesure de la vulnérabilité réside dans la composante géographique, donc dans la prise en compte de la dimension spatiale. En effet, la notion d'échelle influence la mesure de la vulnérabilité. De façon générale, c'est l'échelle régionale qui est utilisée car elle permet une simplification et une généralisation fonctionnelle à l'échelle du territoire, mais cause en contrepartie une perte significative d'information.

La perception du risque d'inondation

- 13 La perception du risque est souvent mentionnée comme un indicateur important de la vulnérabilité (Kellens W. *et al.*, 2011 ; Lechowska E., 2018). Toutefois, on note encore peu d'études incluant la perception dans l'évaluation du risque. Cela relève sans contredit d'une part, des difficultés méthodologiques que posent l'évaluation quantitative de la perception et, d'autre part, du défi associé à l'acquisition de ces données à travers des sondages (Lechowska E., 2018 ; Müller A. *et al.*, 2011). Paradoxalement, de nombreux auteurs se sont attardés à la perception du risque d'inondation (Becker G. *et al.*, 2013 ; Bradford R. *et al.*, 2012 ; Bubeck P. *et al.*, 2012), mais ne l'ont pas incluse dans un cadre plus large portant sur la vulnérabilité.
- 14 Dans le cas de la perception du risque, on s'intéresse non pas à un objet (l'inondation) mais plutôt à un concept (le risque). La recherche sur la perception du risque étudie donc les émotions et les comportements face à un aléa (Kellens W. *et al.*, 2011), mais aussi l'évaluation de la probabilité perçue du danger et des impacts négatifs (Lechowska E., 2018 ; Bubeck P. *et al.*, 2012 ; Becker G. *et al.*, 2013) à travers notamment la mémoire individuelle et collective des événements passés.
- 15 La perception du risque par les acteurs institutionnels (scientifiques et représentants des autorités publiques) est différente de la perception par les individus affectés ou susceptibles de l'être (Beck U., 1986). Il est donc important de comprendre comment les gens touchés par l'aléa perçoivent leur situation pour ainsi améliorer la coordination et la communication entre les autorités et la population, mais aussi afin de proposer des mesures efficaces et adaptées en gestion du risque (Baggio S. et M.-L. Rouquette, 2006 ; Bradford R. *et al.*, 2012 ; Kellens W. *et al.*, 2011). Certains auteurs placent même la

perception du risque au centre des préoccupations, puisque le manque de compréhension des perceptions de la population par les autorités est, selon eux, la principale raison de l'échec des politiques publiques de gestion des inondations (Bradford R. *et al.*, 2012).

Limites des méthodes traditionnelles d'évaluation de la vulnérabilité sur le BV de la Kennebecasis

Situation à l'échelle de l'aire de diffusion

- 16 Plusieurs facteurs limitent l'utilisation des approches traditionnelles d'évaluation et de cartographie de la vulnérabilité dans le secteur d'étude. La première limite est liée au maillage cartographique utilisé et la deuxième, dépendante de la première, est causée par la grande diversité des indicateurs de vulnérabilité choisis ainsi que l'inclusion de la vulnérabilité individuelle (perception, représentation du risque) dans l'analyse. La cartographie traditionnelle de la vulnérabilité utilise généralement les secteurs de recensement gouvernementaux comme maillage d'étude (Tanguy M., 2016). Au Canada, la plus petite unité géographique de diffusion de l'information pour laquelle une large quantité de données socioéconomiques est disponible est l'aire de diffusion (AD) accessible via Statistique Canada. Chaque AD regroupe entre 400 et 700 habitants. Comme mentionné précédemment, le bassin versant de la rivière Kennebecasis est vaste et la densité de population y est faible. Nous avons estimé qu'en moyenne les AD couvrent 26,8 km² et comptent 528 habitants (Statistique Canada, 2019), ce qui équivaut à une densité de population de 19,6 habitants/km².
- 17 L'échelle d'analyse semble donc inadéquate puisque cela implique que la totalité de l'AD est exposée au même niveau de risque d'inondation, ce qui est d'autant plus problématique puisque les changements de vulnérabilité se font surtout à une échelle plus fine. Par exemple, les indicateurs d'exposition tels que le niveau d'eau et la vitesse d'écoulement diffèrent d'une manière significative dans l'AD, et sont même inexistantes en dehors des plaines inondables, lesquelles peuvent représenter des portions plus ou moins importantes dans certaines AD. La cartographie par AD suggère donc que tous les individus présents dans la zone sont vulnérables de manière équivalente, ce qui est erroné puisque les disparités socioéconomiques changent à l'échelle des quartiers, voire des bâtiments. Dans une perspective multiscalaire, il est possible d'étudier simultanément les disparités de vulnérabilité entre quartiers à partir d'une cartographie à l'échelle du bâtiment, mais le contraire est impossible d'où l'intérêt de travailler à une échelle fine. De plus, la cartographie à l'échelle du bâtiment est avantageuse pour la sécurité civile afin de prioriser des populations, quartiers, etc. et ce autant en phase de prévention, d'atténuation, d'intervention et de rétablissement (Tanguy M., 2016).
- 18 Des auteurs ont déjà mentionné l'importance de cartographier le risque et ses composantes à l'échelle la plus fine possible en préconisant la parcelle ou le bâtiment (Dewals B.J. *et al.*, 2011 ; Merz B. *et al.*, 2007). D'autres auteurs ont appliqué ce type de maillage cartographique mais seulement dans une analyse purement axée sur la dimension économique (Müller A. *et al.*, 2011) ou en termes de perte de vie humaine (Ramsbottom D. *et al.*, 2003). À notre connaissance, Tanguy (2016) est l'une des seules à

avoir créé un outil cartographique à l'échelle du bâtiment destiné à une utilisation opérationnelle.

- 19 Dans le cas du bassin versant de la rivière Kennebecasis, l'approche par bâtiment semble être le seul moyen de localiser avec précision les individus et les résidences les plus à risque pour diminuer efficacement la vulnérabilité. Il est aussi important d'utiliser une approche intégrée allant au-delà de l'analyse purement économique (valeur du logement, courbe des dommages) (Merz B. *et al.*, 2007) ou de l'analyse utilisant seulement les indicateurs socioéconomiques classiques comme l'âge, le revenu, le niveau d'éducation et le genre, etc. (Müller A. *et al.*, 2011). Enfin, l'analyse à l'échelle du bâtiment permet entre autres d'inclure la vulnérabilité du bâtiment résidentiel ainsi que d'intégrer la perception et la préparation individuelle comme indicateurs de vulnérabilité.

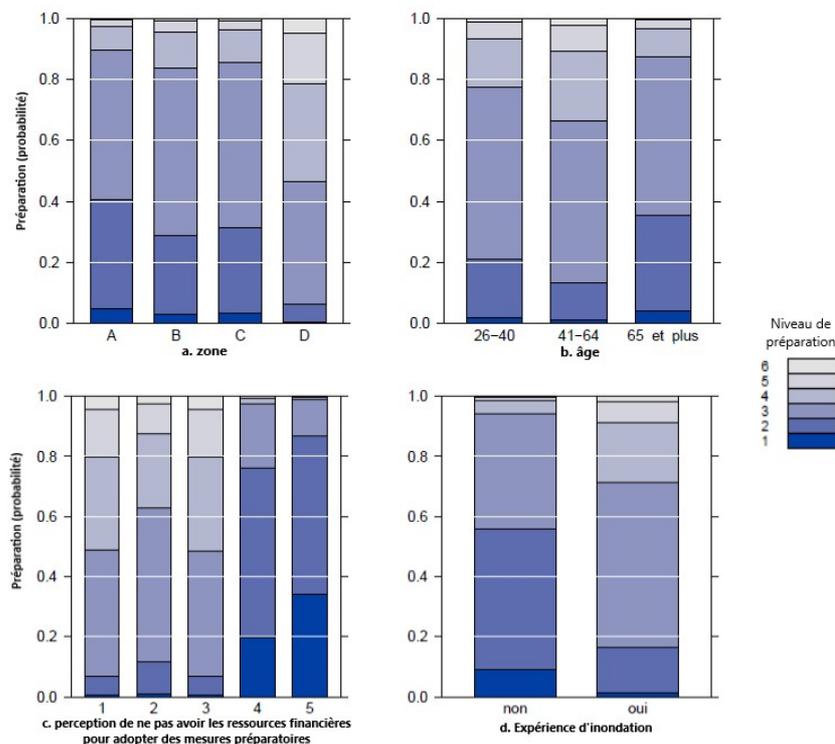
Observations préliminaires sur la situation à Sussex

- 20 À l'été 2019, l'étude du risque et de la vulnérabilité à l'échelle du bâtiment dans le bassin versant de la rivière Kennebecasis a été réalisée. Pour ce faire, la population locale a été contactée afin de dresser un portrait détaillé des conditions socioéconomiques et de la perception du risque de la communauté. Dans un premier temps, la superposition des intervalles de retour des inondations et du cadre bâti a permis l'identification de quatre principales zones exposées au risque. Ces zones ont ensuite été corroborées d'une part, avec les acteurs locaux et, d'autre part, avec l'analyse des événements historiques d'inondation (GNB, 2019). Un questionnaire s'appuyant sur les bases théoriques précédemment exposées a ensuite été distribué à tous les deux bâtiments localisés dans la plaine inondable de la localité de Sussex. Le questionnaire est divisé en trois sections : la première concerne des informations générales (âge, sexe, expérience avec les inondations, etc.), la deuxième comprend des questions sur la perception (composantes affectives et cognitives) et la dernière porte sur les mesures de préparation aux inondations.
- 21 Les réponses au questionnaire (22,8 % de taux de réponse ; soit 57 questionnaires complétés sur 250 questionnaires distribués) ont permis de dresser les constats suivants :
- La population de la zone d'étude est vieillissante et plusieurs individus ont des problèmes de mobilité.
 - La perception du risque est, en général, très élevée, c'est-à-dire que les répondants ont une grande connaissance de l'aléa inondation et qu'ils sont très inquiets des impacts que les inondations peuvent avoir sur leurs biens et leur personne. La perception a été évaluée à partir de plusieurs questions et énoncés en rapport avec l'aléa et pour lesquels les répondants ont exprimé leur degré d'accord ou de désaccord avec l'échelle de Likert (1 à 5).
 - Les gens qui n'ont pas vécu d'inondation dans leur vie ont une perception et une préparation plus faible que ceux qui en ont vécu, mais le nombre d'inondations ne semble pas influencer ni la perception ni la préparation. La préparation a été évaluée en fonction du nombre de mesures préparatoires en place comme la trousse de 72 heures, la présence d'une pompe, la construction d'un système de drainage, le rehaussement du bâtiment, etc.
 - Une perception élevée ne mène pas nécessairement à des mesures de préparation plus nombreuses et adéquates. Par contre, cette information s'avère très utile pour orienter les

actions futures des autorités qui devront davantage se concentrer sur des mesures de sensibilisation et de préparation que sur les connaissances liées aux inondations.

- 22 La figure 2 illustre les résultats de l'analyse statistique prédictive (test Gamma de Kuskal et Goodman) sur quatre composantes de la vulnérabilité (lieu, âge, ressources financières et l'expérience des inondations). Dans la zone D, on note une très faible probabilité d'obtenir une faible préparation par comparaison aux zones A à C (figure 2a ; $KG = 0,174$). L'âge comme facteur de vulnérabilité traduit le fait que les personnes les plus âgées (65 ans et plus) sont généralement moins enclines que les plus jeunes à se préparer (figure 2b ; $KG = 0,147$). Les personnes qui jugent avoir le moins de ressources financières pour des mesures d'adaptation et d'atténuation face aux inondations sont celles qui adoptent le moins de mesures de préparation (figure 2c ; $KG = 0,11$). Enfin, les résultats préliminaires montrent aussi une relation entre le fait d'avoir vécu une inondation et l'adoption de mesures de préparation (figure 2d ; $KG = 0,176$).
- 23 La stratégie de communication du risque des autorités locales devrait par conséquent cibler d'une part, certains groupes plus vulnérables et moins préparés comme les personnes âgées et, d'autre part, celles situées dans des zones spécifiques. La transmission d'une meilleure information sur l'aide financière disponible semble aussi représenter une solution appropriée. Les informations supplémentaires issues des questionnaires serviront à calculer un indice de vulnérabilité lorsque combinées avec d'autres indicateurs classiques de la vulnérabilité. Il sera alors possible de produire une cartographie de la vulnérabilité à l'échelle du bâtiment et issue d'une approche participative car élaborée avec la population exposée. Celle-ci sera utile aux autorités locales pour la prévention, l'atténuation, l'intervention et le rétablissement de la communauté de Sussex face au risque d'inondation.

Figure 2 Analyse statistique probabiliste de l'effet prédictif du lieu (a), de l'âge (b), des ressources financières (c) et de l'expérience des inondations (d) sur l'adoption de mesures de préparation face au risque d'inondation dans la localité de Sussex.



Conclusion

- 24 À la lumière des éléments présentés dans cet article, nous constatons que l'ajout des concepts de vulnérabilité et de la perception gagneraient à être pris en compte dans le cadre de la gestion du risque d'inondation. De plus, il serait avantageux de prendre en compte le concept d'espace de liberté qui, selon Biron P. *et al.*, (2013) « vise à identifier les espaces d'inondabilité et de mobilité du cours d'eau et à le laisser évoluer dans ces espaces plutôt que de le contraindre à évoluer dans un corridor fluvial façonné par les interventions anthropiques ». Tout comme l'utilisation des services écosystémiques, la conservation d'un espace de liberté présente de nombreux avantages tels que la recharge en sédiments des plages, la conservation des habitats riverains, etc. Cependant, on constate au Nouveau-Brunswick, comme ailleurs au pays, qu'un manque de soutien législatif freine la mise en place de ces outils de prévention et de réduction du risque d'inondation (Jellet M., 2017 ; Biron P. *et al.*, 2013).
- 25 Un dilemme subsiste toujours sur le choix des meilleures stratégies à adopter pour faire face aux inondations. Les mesures de protection par la construction d'infrastructures peuvent s'avérer coûteuses, perturber les écosystèmes et leur durée de vie est limitée. Néanmoins ce type de pratique est encore courant comme en témoigne l'investissement important au montant de 637 000 \$ canadiens qui vient d'être consenti par le Gouvernement canadien. Dans le cadre du programme national d'atténuation des catastrophes (PNAC) relevant du ministère de la Sécurité publique et de la protection civile du Canada, cet argent servira à la construction d'une berme d'inondation et d'une

station de pompage des eaux pluviales qui devraient assurer la protection contre les inondations au cœur de la ville de Sussex.

- 26 D'autre part, bien que la cartographie des zones inondables demeure un outil pertinent et utile pour délimiter les zones à risque et permet d'orienter la réglementation de construction, cela n'empêche pas l'eau issue des inondations de pénétrer dans les zones sensibles et de causer des dommages. Il semble donc que des mesures préventives, telles que la sensibilisation et l'éducation, s'avèrent à la fois des stratégies efficaces et peu coûteuses qui favorisent la réduction de la vulnérabilité. De plus, l'exemple du bassin versant de la rivière Kennebecasis montre que l'application de mesures d'adaptation et d'atténuation face au risque d'inondation doit être gérée au cas par cas et que celles-ci demeurent généralement spécifiques au milieu étudié (à l'échelle locale) et pas nécessairement transférable à d'autres zones inondables. Par contre, à l'échelle de la province du Nouveau-Brunswick, une importante opération de mise à jour des cartes des zones inondables a été amorcée en 2018 et se poursuivra jusqu'en 2020 au minimum. Cette mise à jour s'inscrit dans le cadre de la volonté du gouvernement du Nouveau-Brunswick de réduire les coûts associés aux inondations tel qu'énoncé dans le cadre de la stratégie de réduction des risques d'inondations (GNB, 2014). De plus, les inondations majeures qui ont atteint des niveaux records le long du fleuve Saint-Jean aux printemps 2018 et 2019 ont causé des dommages importants qui forcent les gouvernements provinciaux et fédéraux, puisque les coûts sont partagés entre les deux instances, à agir de manière urgente.
- 27 Finalement, à ce jour la mise en œuvre de stratégies d'adaptation et d'atténuation est, présentement, surtout assumée par des organisations locales et par le monde municipal, même si ceux-ci disposent en général de peu de moyens. Au Nouveau-Brunswick, plusieurs organisations de gestion des bassins versants assument un rôle important d'éducation, sans en avoir le mandat officiel, mais aussi dans l'élaboration de plans d'adaptation aux changements climatiques qui incluent la prise en compte des inondations côtières et fluviales. La gestion des inondations est une tâche complexe qui demande l'accès à des données, des ressources humaines spécialisées ainsi que des ressources financières importantes. C'est pour ces raisons que Aerts J. *et al.* (2014) mentionnent qu'il est nécessaire de créer des partenariats pour le partage des données, d'expertise et d'expérience. Entre autres, les partenariats tels que la collaboration des différents paliers gouvernementaux, de l'industrie privée comme les compagnies d'assurances qui possèdent des bases de données, des institutions de recherche, etc. Malgré le fait que l'analyse des risques procurent des résultats intéressants mais variables selon les facteurs utilisés, cela ne devrait pas constituer une excuse valable à l'absence de développement d'outils et de prise d'actions (Aerts J. *et al.*, 2014).

BIBLIOGRAPHIE

- Aerts, Jeroen, Botzen, Wouter, Emanuel, Kerry de Moel *et al.*, « Evaluating Flood Resilience Strategies for Coastal Megacities », *Science*, vol. 344, 2014, p.473-475, <https://science.sciencemag.org/content/344/6183/473>, page consultée le 13 juillet 2019.
- Baggio, Stéphanie et Rouquette, Michel-Louis, « La représentation sociale de l'inondation : influence croisée de la proximité au risque et de l'importance de l'enjeu », *Bulletin de psychologie*, vol. 481, n° 1, 2006, p.103-117. <https://www.cairn.info/revue-bulletin-de-psychologie-2006-1-page-103.htm#>, page consultée le 2 août 2019.
- Balica, Stefania, Douben, Nicolas et Wright Nige George, « Flood vulnerability indices at varying spatial scales », *Water Science and Technology*, vol. 60, n° 10, 2009, p.2571, <https://pdfs.semanticscholar.org/0e46/50976cf24d20d7578fb447a8c10b38da90c2.pdf>, page consultée le 8 août 2019.
- Beck, Ulrich, *La société du risque. Sur la voie de la modernité*, Paris, Aubier, 1986.
- Becker, Gert, Aerts, Jeroen, Huitema Dave, « Influence of flood risk perception and other factors on risk reducing behaviour: a survey of municipalities along the Rhine », *Flood Risk Management*, 2013, p.16-30, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jfr3.12025>, page consultée le 19 août 2019.
- Birkmann, Joern, « Danger need not spell disaster. But how vulnerable are we? », *Research Brief*, vol. 1, 2005, p.8, <https://www.files.ethz.ch/isn/21139/UNU-RB-1-2005-EHS.pdf>, page consultée le 8 août 2019.
- Birkmann, Joern, « Risk and vulnerability indicators at different scales: applicability, usefulness and policy implications », *Environmental Hazards* vol. 7, n° 1, 2007, p.20, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S174778910700004X>, page consultée le 8 août 2019.
- Birkmann, Joern, Cardona, Dario, Carreño, Liliana *et al.*, « Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework », *Natural Hazards*, vol. 67, n° 2, 2013, p.193-211.
- Biron, Pascal, Buffin-Bélanger, Thomas, Larocque, Marie *et al.*, *Espace de liberté : Un cadre de gestion intégrée pour la conservation des cours d'eau dans un contexte de changements climatiques*. Rapport de recherche, 2013.
- Blaikie, Piers, Cannon, Terry, Davis Ian *et al.*, *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters*. London, Routledge 1^{re} édition, 1994
- Bradford, Roisin, O'Sullivan, John James, van der Craats, Irene *et al.*, « Risk perception issues for flood management in Europe », *Natural Hazards Earth System*, vol. 12, 2012, p.2299-2309, <https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/12/2299/2012/>, page consultée le 9 août 2019.
- Bubeck, Philip, Botzen, Wouter, Aerts, Jeroen, « A Review of Risk Perceptions and Other Factors that Influence Flood Mitigation Behavior », *Risk Analysis*, vol 32, 2012, p.1481-1595, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1539-6924.2011.01783.x>, page consultée le 9 août 2019.
- Cardona Omar Dario, van Aalst Maarten, Birkmann Joern *et al.*, *Determinants of risk: exposure and vulnerability*, Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), New York, Cambridge University Press, 2012.

Cutter, Susan, « Vulnerability to environmental hazards », *Progress in Human Geography*, vol. 20, n° 4, 1996, p.529-539.

Cutter, Susan, Boruff, Bryan et Shirley, Lynn, « Social Vulnerability to Environmental Hazards », *Social Science Quarterly*, vol. 84, n° 2, 2003, p. 242-261, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/1540-6237.8402002>, page consultée le 8 août 2019.

Cutter, Susan, Barnes, Lindsey, Berry, Melissa *et al.*, « A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. », *Global Environmental Change*, vol. 18, n° 4, 2008, p. 598-606.

Dewals, Benjamin, Detrembleur, Sylvain, Archambeau, Pierre *et al.*, « Caractérisation micro-échelle du risque d'inondation : modélisation hydraulique détaillée et quantification des impacts socio-économiques. », *La Houille Blanche*, vol. 2, 2011, p.28-34, <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/85134/1/lhb2011015.pdf>, page consultée le 9 août 2019.

Field, Christopher, Barros, Vicente, Stocker, Thomas F. *et al.*, *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Research report, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press, Royaume-Uni, 2012.

Fortin, Guillaume, Thériault, Francis, Long, Marc-André *et al.* *Comparaison de méthodes pour cartographier les zones à risque d'inondation : bassin versant de la rivière Kennebecasis - 3^e année*. Rapport de recherche soumis au Fonds en Fiducie pour l'environnement du Nouveau-Brunswick, Moncton, Université de Moncton, 2018.

Fortin, Guillaume, Thériault, Francis, Long, Marc-André *et al.*, *Cartographie et atténuation des risques d'inondation liés aux glaces : bassin versant de la rivière Kennebecasis*. Rapport de recherche soumis au Fonds en Fiducie pour l'environnement du Nouveau-Brunswick, Moncton, Université de Moncton, 2019.

Gallopin, Gilberto, « Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity », *Global Environmental Change*, vol. 16, n° 4, 2006, p.293-303.

Gouvernement du Nouveau-Brunswick, « Base de données historiques sur les inondations », *Environnement et gouvernement locaux*, 2019, <http://www.elgegl.gnb.ca/0001/en/Flood/Index>, page consultée le 12 août 2019.

ICF International, *Best Practices and Resources on Climate Resilient Natural Infrastructure*. Rapport de recherche, Report prepared for Canadian Council of Ministers of the Environment, n° 1581, 2018.

Jellet, Mélanie, *Planning the blue zone: A road map for implementing a regional climate change adaptation strategy for freshwater flood management in Southeast New Brunswick*, Report Prepared for the Southeast Regional Service Commission of New Brunswick, Commissions de services régionaux du Sud-Est, 2017.

Jousseaume, Valérie, Landrein, Julie, Mercier, Denis, « La vulnérabilité des hommes et des habitations face au risque d'inondation dans le Val nantais (1841-2003). Entre législation nationale et pratiques locales », *Norois. Environnement, aménagement, société*, vol. 192, n° 3, 2004, p. 29-45.

Kellens, Wim, Zaalberg, Ruud, Neutens, Tijs *et al.*, « An analysis of the public perception of flood risk on the Belgian coast », *Risk analysis*, vol. 31, n° 7, 2011, <https://www.deepdyve.com/lp/wiley/an-analysis-of-the-public-perception-of-flood-risk-on-the-belgian-r1Jo9gI0eV>, page consultée le 12 août 2019.

- Keller, Edward, Blodgett, Robert, et Clague, John, *Natural Hazards: Earth's Processes as hazards, Disasters, and Catastrophes*. Canada, Toronto, Canadian Edition, Pearson Education, 2008
- Lechowska, Ewa, «What determines flood risk perception? A review of factors of flood risk perception and relations between its basic elements », *Natural Hazards*, vol. 94, n° 3, 2018, p. 1131-1366.
- Merz, Bruno, Thieken, Annegret et Gocht, Martin « Flood Risk Mapping At The Local Scale : Concepts and Challenges », *Flood Risk Management in Europe*, Begum Selina, Stive Marcel et Hall Jim (Édit.), Springer Netherlands, vol. 25, 2007, p. 231-251, https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4020-4200-3_13 , page consultée le 11 août 2019.
- Metzger, Richard, *Modélisation des inondations par approches déterministe et stochastique avec prise en compte des incertitudes topographiques pour la gestion des risques liés aux crues*. Thèse doctorale, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2003.
- Müller, Annemarie, Reiter, J. et Weiland, Ulrike, « Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach – a case study for Santiago de Chile », *Natural Hazards and Earth System*, vol. 11, 2011, p.2107-2123, <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2107-2011>, page consultée le 11 août 2019.
- Nicholls, Robert et Klein, Richard, *Climate change and coastal management on Europe's coast. Managing European Coasts: Past, Present and Future*, New York, Springer-Verlag, Environmental Science Monograph Series, 2006, p.199-226.
- Radio-Canada, *Inondations printanières de 2019 : des dommages quatre fois moins importants qu'en 2018*. 2018, <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1211144/inondations-nouveau-brunswick-dommages-printemps-2019-evaluation>, page consultée le 12 août 2019.
- Ramsbottom, David, Floyd, Peter et Penning-Rosewell, Edmund, *R&D Technical report: Flood risks to people. Phase 1, R&D Technical Report FD2317/TR*, rapport de recherche, Londres, Defra/ Environment Agency Flood and Coastal Defence R&D Programme, 2003
- Sécurité publique Canada, « Inondations », 2015, <https://www.securitepublique.gc.ca/cnt/mrgnc-mngmnt/ntrl-hzrds/fl-d-fra.aspx>, page consultée le 8 août 2019.
- Statistique Canada, *Compté de Kings. Nouveau-Brunswick*, Profils des communautés de 2016, Recensement de 2016, produit n° 92-591-XWF au catalogue de Statistique Canada, version mise en ligne le 5 janvier 2015 (https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/index.cfm?Lang=F&fbclid=IwAR295JSt1gjqooLaWCunW99JHiz_brpQ9fbKi5k5wjV5cwVfMu59C-L8k5o), page consultée le 8 août 2019.
- Szewrański, Szymon, ŚwiĄder, Malgorzata, Kazak, Jan, et al., « Socio-Environmental Vulnerability Mapping for Environmental and Flood Resilience Assessment: The Case of Ageing and Poverty in the City of Wrocław, Poland », *Integrated Environmental Assessment and Management*, vol. 14, n° 5, 2018, p.592-597.
- Tanguy, Marion, *Développement d'une méthode de caractérisation et d'évaluation du risque humain lié aux inondations en milieu urbain*. Thèse présentée pour l'obtention du grade de Philosophiae doctor (Ph.D.) en sciences de l'eau. Québec. Institut National de la Recherche Scientifique, Centre Eau Terre Environnement, 2016.
- Tanoue, Masahiro, Hirabayashi, Yukiko et Ikeuchi, Hiroaki, « Global-scale river flood vulnerability in the last 50 years », *Scientific Report*, vol. 6, 2016, <https://www.nature.com/articles/srep36021>, page consultée le 10 août 2019.

Thiault, Lauric, Marshall, Paul, Gelcich, Stefan *et al.* « Mapping social–ecological vulnerability to inform local decision making », *Conservation Biology*, n° 2, 2018, p.447-456.

Veyret, Yvette, et Reghezza, Magali, « Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité », *Responsabilité & Environnement*, n° 43, 2006, p. 9-14, <http://annales.com/re/2006/re43/Veyret.pdf>, page consultée le 6 juillet 2019.

Ward, Philip, Jongman, Brenden, Weiland, Frederiek Sperna *et al.* « Assessing flood risk at the global scale: model setup, results, and sensitivity ». *Environmental Research Letters*, vol. 8, n° 4, 2008, 044019.

Wisner, Ben, Blaikie, Piers, Cannon, Terry *et al.*, *At Risk, Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. 2^e édition, New York, Routledge, 2004

RÉSUMÉS

La province du Nouveau-Brunswick, située dans l'est du Canada, est très affectée par les inondations. Bien que moins documentée que l'aléa, la dimension humaine du risque que représente la vulnérabilité est importante pour l'adaptation des populations. Cet article fait un survol des principaux concepts liés à la vulnérabilité et présente leur application à l'échelle d'un bassin versant de taille moyenne. Les résultats montrent la nécessité de considérer simultanément la perception et la préparation au risque d'inondation. En effet, si certains résidents dans les zones à risque ont une bonne connaissance des inondations et une perception réaliste du risque, cela ne se traduit pas nécessairement par une préparation adaptée et adéquate face au risque. La réduction du risque passe indéniablement par une meilleure sensibilisation et éducation de la population.

The province of New Brunswick, located in eastern Canada, is very affected by the floods. Although less documented than the hazard, the human dimension of the risk, especially the notion of vulnerability is important for the adaptation of populations. This article provides an overview of the main concepts related to vulnerability and presents their application on the scale of a medium-sized watershed. The results show the need to simultaneously consider perception and preparedness for the risk of flooding. Indeed, if certain residents in risk areas have a good knowledge of floods and a realistic perception of the risk, this does not necessarily translate into suitable and adequate preparation for the risk. Risk reduction undeniably requires better awareness and education of the population.

A província de New Brunswick, localizada no leste do Canadá, é muito afetada pelas inundações. Embora menos documentada que o perigo, a dimensão humana do risco, especialmente a noção de vulnerabilidade, é importante para a adaptação das populações. Este artigo fornece uma visão geral dos principais conceitos relacionados à vulnerabilidade e apresenta sua aplicação na escala de uma bacia hidrográfica de tamanho médio. Os resultados mostram a necessidade de considerar simultaneamente a percepção e a preparação para o risco de inundações. De fato, se certos residentes nas áreas de risco têm um bom conhecimento das inundações e uma percepção realista do risco, isso não se traduz necessariamente em uma preparação adequada e adequada para o risco. A redução de riscos inevitavelmente requer uma melhor conscientização e educação da população.

INDEX

Palavras-chave : Risco, inundação, vulnerabilidade, percepção, bacia hidrográfica

Mots-clés : Risque, inondation, vulnérabilité, perception, bassin versant

Keywords : Hazard, flood, vulnerability, perception, watershed

AUTEURS

GUILLAUME FORTIN

Guillaume Fortin est professeur de géographie à l'Université de Moncton.

guillaume.fortin@umoncton.ca

CHARLOTTE POIRIER

Charlotte Poirier est étudiante à la maîtrise. Maîtrise en étude de l'environnement, Université de

Moncton. ecp5936@umoncton.ca

FRANÇOIS DUHAMEL

François Duhamel est étudiant à la maîtrise. Département de géographie, Université du Québec à

Montréal. duhamel.francis@courrier.uqam.ca

DANIEL GERMAIN

Daniel Germain est professeur de géographie. Département de géographie, Université du Québec

à Montréal. germain.daniel@uqam.ca