

Limite à vie sur les inondations successives : vers un nouveau pacte social ?

Mathieu Boudreault and Michaël Bourdeau-Brien

Volume 87, Number 1-2, July 2020

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1070750ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1070750ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Faculté des sciences de l'administration, Université Laval

ISSN

1705-7299 (print)

2371-4913 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Boudreault, M. & Bourdeau-Brien, M. (2020). Limite à vie sur les inondations successives : vers un nouveau pacte social ? *Assurances et gestion des risques / Insurance and Risk Management*, 87(1-2), 1–32.
<https://doi.org/10.7202/1070750ar>

Article abstract

Après les nombreuses crues printanières qui ont affecté le sud du Québec depuis 2011, le gouvernement du Québec a annoncé en avril 2019 une refonte importante de son programme d'aide financière aux sinistrés. Le programme introduit désormais une couverture limitée à vie de 100 000 \$ pour les inondations successives, une mesure unique au Canada. L'objectif de cet article est d'analyser le coût des inondations successives et les impacts financiers de cette limite de couverture pour les ménages.

LIMITE À VIE SUR LES INONDATIONS SUCCESSIVES : VERS UN NOUVEAU PACTE SOCIAL ?

Mathieu BOUDREAU¹ et Michaël BOURDEAU-BRIEN²

■ RÉSUMÉ

Après les nombreuses crues printanières qui ont affecté le sud du Québec depuis 2011, le gouvernement du Québec a annoncé en avril 2019 une refonte importante de son programme d'aide financière aux sinistrés. Le programme introduit désormais une couverture limitée à vie de 100 000 \$ pour les inondations successives, une mesure unique au Canada. L'objectif de cet article est d'analyser le coût des inondations successives et les impacts financiers de cette limite de couverture pour les ménages.

Mots-clés : Inondation, Gestion des risques, Finance des ménages

1. INTRODUCTION

Les inondations sont le type de désastre le plus fréquent et le plus coûteux au Canada. En effet, selon le Bureau d'assurance du Canada (2015), les inondations représentent à elles seules 75% des sommes versées dans le cadre des Accords d'aide financière en cas de catastrophe (AAFCC) de Sécurité publique Canada. Bien que les conséquences économiques des inondations soient difficiles à estimer, nous savons que le coût des sinistres assurés liés aux événements météorologiques extrêmes est en forte croissance, ayant bondi de 400 millions à 1 milliard de dollars par année en moyenne dans les trois dernières décennies, en partie en raison des changements climatiques (Bureau d'assurance du Canada, 2018). Ces mêmes changements climatiques sont susceptibles d'augmenter la fréquence et l'intensité des épisodes

de précipitations extrêmes (IPCC, 2019), ce qui pourrait augmenter dans plusieurs régions du pays le risque d'inondation par débordement de cours d'eau (Gouvernement du Canada, 2019).

Il importe également d'ajouter qu'au Québec, de nombreux quartiers ont été bâtis sur des plaines inondables. La Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables datant de 2005 et mise à jour à quelques reprises depuis³ prescrit qu'aucun bâtiment ne peut être construit dans la zone inondable de 20 ans et qu'aucune ouverture (fenêtres ou portes) ne doit se situer en deçà de la hauteur associée à la zone inondable de 100 ans. Toutefois, tous les bâtiments construits avant l'entrée en vigueur de la Politique possèdent un droit acquis. De plus, à la suite d'inondations majeures en 2017 et 2019, le gouvernement provincial a instauré un moratoire sur la reconstruction des bâtiments dévastés situés en zone inondable 0-20 ans visant 776 municipalités. Le moratoire a cependant fait l'objet de contestations ayant entraîné des changements à la zone touchée par le moratoire de sorte qu'une grande proportion des 170 000 habitations initialement affectées sont en droit d'être reconstruites.⁴ Dans tous les cas au Québec, la mise en place, le financement et le maintien de mesures de mitigation du risque (barrages, réservoirs, digues, etc.) reposent essentiellement sur les épaules des gouvernements (municipal, provincial et fédéral). De plus, la difficulté, voire l'impossibilité, de se procurer une protection d'assurance abordable contre les inondations (Jung, 2019) implique, qu'en cas de catastrophe, les sinistrés doivent compter sur les programmes gouvernementaux pour obtenir de l'aide financière.

En lien avec ces constats, des modifications au *Programme général d'aide financière lors de sinistres réels ou imminents* ont été décrétées le 15 avril 2019 par le Ministère de la Sécurité publique du Québec (décret 403-2019). La nouvelle mouture de ce programme prévoit pour la première fois des sommes pour la relocalisation/rachat des propriétés sinistrées. L'instauration de compensations pour la relocalisation/rachat représente un changement de paradigme, en accord avec les principes du développement durable, où les résidents doivent apprendre à vivre avec les inondations plutôt que de les combattre (Verkerk & van Buuren, 2012). Entre autres choses, ces « nouveaux » mécanismes de gestion des inondations s'inscrivent dans un courant mondial de diversification des stratégies de gestion des risques (Wiering et al., 2017).

L'offre de compensations pour la relocalisation des sinistrés, le rachat, la réparation ou la reconstruction des propriétés s'accompagne toutefois d'une disposition majeure : le décret plafonne les indemnités

cumulatives pour inondations récurrentes. Alors que le précédent programme d'aide traitait chaque inondation comme indépendante et permettait à un propriétaire d'obtenir une nouvelle indemnisation après chaque inondation, le nouveau programme traite différemment le premier sinistre des sinistres subséquents.

- Premier sinistre: indemnisation à la hauteur de 90% des coûts de reconstruction encourus jusqu'à concurrence du minimum entre 200 000 \$ et 100% de la valeur à neuf de la propriété.
- Sinistres subséquents: indemnisation à la hauteur de 90% des coûts de reconstruction encourus jusqu'à concurrence à vie (montant cumulé) de 100 000 \$ (ou de 50% de la valeur à neuf de la propriété, selon le plus bas des deux montants).

Par cette nouvelle disposition, le décret signale une modification du contrat social indiquant un manque d'acceptabilité pour que la société assume les dommages répétitifs qui résultent du choix, souvent involontaire, des ménages de s'établir en zone inondable. Le nouveau programme implique également que les ménages établis en zone à risque devront supporter dans le futur une plus grande proportion des coûts des inondations.

L'objectif principal de cet article est donc d'analyser les impacts financiers pour les ménages de l'introduction d'une limite à vie pour les inondations successives dans le Programme d'aide financière du gouvernement du Québec. Nous calculons d'abord la probabilité de subir une ou plusieurs inondations dans un horizon de 25 ans en fonction de la localisation de la propriété dans une zone à risque. Cet horizon correspond à la période d'amortissement typique d'une hypothèque sur une résidence unifamiliale. Puis, à l'aide de simulations, nous estimons la distribution des dommages directs découlant de ces événements. Cela nous permet d'identifier les moments où la limite à vie devient contraignante, et de commenter les impacts possibles de cette limite sur la santé financière des ménages. Finalement, nous abordons le sujet des changements climatiques en analysant brièvement la sensibilité de nos résultats à une variation de la fréquence et sévérité des inondations.

Le nouveau Programme d'aide financière du gouvernement du Québec offre plusieurs options dont les implications financières sont significatives et non triviales. Une contribution importante de cet article est aussi de vulgariser les résultats afin de mieux outiller les ménages dans la prise de décisions. En effet, tant à l'international qu'au Canada,

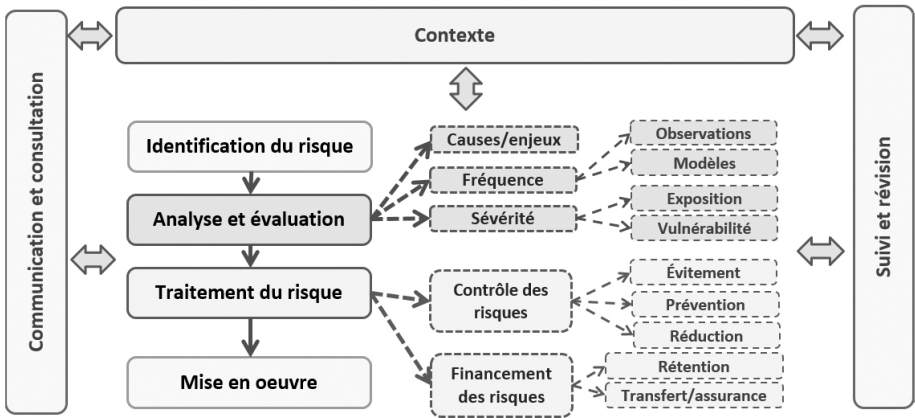
les recherches démontrent clairement que les propriétaires établis dans les zones inondables ont tendance à sous-estimer le risque auquel ils font face (Kellens et al., 2013; Thistlethwaite et al., 2018). Au Québec, malgré d'importants efforts présentement investis pour moderniser les cartes de zones inondables, il est difficile pour les ménages d'obtenir une information précise sur cette source de risque.⁵ De plus, cette information, lorsque disponible, est traditionnellement présentée sous la forme d'une période de récurrence de 20 ou 100 ans pouvant être difficile à transposer en termes d'impacts réels sur une propriété. Il apparaît donc souhaitable, voire nécessaire, de communiquer ce qu'impliquent ces périodes de récurrences en termes de dommages attendus afin de conscientiser les ménages et autres acteurs de la société à propos des implications financières découlant d'une limite à vie aux indemnisations lors d'inondations. Pour les propriétaires directement touchés par cette disposition du décret d'avril 2019, les simulations contenues dans cet article forment une base de connaissance pouvant, nous l'espérons, mener à une prise de décision éclairée.

Le reste de cet article est structuré comme suit. La section 2 présente brièvement le cadre théorique de la gestion des risques et positionne la contribution de cet article dans ce cadre. La section 3 décrit l'approche de modélisation par simulation tout en étayant certaines hypothèses clés et en précisant les principales limites inhérentes de cette approche. La section 4 expose les résultats obtenus et s'accompagne d'une discussion sur leurs implications. La section 5 examine la sensibilité des résultats aux variations de la fréquence et sévérité des inondations et informe donc sur les impacts potentiels des changements climatiques. La section 6 conclut.

2. COURT SURVOL DU CONTEXTE THÉORIQUE DE LA GESTION DES RISQUES

L'aide financière de dernier recours analysée dans cet article s'inscrit au sein du processus général de gestion du risque d'inondation. Bien que ce processus s'exprime différemment selon les disciplines, il est habituellement segmenté en quatre grandes étapes interreliées que sont l'identification des risques, l'analyse (quantification) des risques, le choix de stratégies de traitement du risque et la mise en œuvre des stratégies. La figure 1 ci-dessous schématise le processus de gestion des risques en s'inspirant de la norme ISO 31000.

■ FIGURE 1 *Processus de gestion des risques*



Basé sur la norme ISO 31000, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:fr>

Les stratégies de gestion des risques sont habituellement classées en deux catégories, soit les mesures de contrôle des risques et les mesures de financement des risques. Le contrôle des risques se définit comme une action posée consciemment qui vise à réduire la fréquence ou la sévérité d'une perte accidentelle. Les mesures de contrôle englobent, entre autres, les mesures de prévention, de réduction (de la sévérité), de diversification et l'évitement.

Le financement des risques consiste à s'assurer de la disponibilité des fonds qui seront nécessaires pour compenser les pertes monétaires. Les mesures de financement consistent à transférer le risque, à acheter un instrument de couverture ou à retenir (assumer) le risque. L'aide financière de dernier recours analysée dans cet article constitue une mesure de transfert des risques, au même titre que l'assurance inondation.

Toute stratégie de gestion du risque entraîne des coûts qui doivent être comparés aux gains anticipés. Le choix d'une stratégie de gestion des risques dépend non seulement de la fréquence et de la sévérité du risque, mais également de plusieurs facteurs propres au preneur de décision. Entre autres choses, une personne ayant une grande aversion au risque pourra être satisfaite en déboursant davantage pour minimiser les risques ou s'assurer d'une compensation en cas de sinistre alors qu'une autre avec une faible aversion au risque préférera réduire les coûts de gestion de l'incertitude en assumant davantage de risques. Une stratégie optimale de gestion des risques combine généralement mesures de contrôle et mesures de financement.

Dans la suite de cet article, nous analyserons l'effet d'une aide financière de dernier recours en isolé. En d'autres mots, nous ne commenterons pas le caractère optimal de cette compensation gouvernementale pour un investisseur-type et nous ferons abstraction des synergies pouvant exister entre ce type de mesure de financement et les autres stratégies existantes de gestion du risque d'inondation. Notre analyse vise plutôt à exposer les effets à long terme d'un plafond aux indemnités de dernier recours pour les résidents en zone inondable.

3. MODÉLISATION PAR SIMULATIONS

Nous analysons maintenant les conséquences monétaires directes d'une matérialisation du risque d'inondation sur un horizon de 25 ans à l'aide de simulations. L'approche utilisée décompose le *risque* d'inondation en ces composantes :

1. Aléa : fréquence et intensité ;
2. Vulnérabilité et exposition ;
3. Dommages directs.

Fréquence. La fréquence des inondations est mesurée à l'aide de ce qu'on appelle une période de récurrence. Par exemple, une inondation de récurrence 20 ans signifie que sur une très longue période (disons 10 000 ans), une inondation de ce type surviendra en moyenne une fois aux 20 ans. Par conséquent, pour n'importe quelle année, une telle inondation a une chance sur 20 de survenir ou une probabilité de 5%. Une inondation de récurrence 100 ans a donc une probabilité de 1% de survenir dans une année donnée.

Au Québec, la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) définit ce qu'on appelle une zone ou plaine inondable, c'est-à-dire un territoire où les propriétés pourraient être inondées. Les périodes de récurrence de 2 ans, 20 ans et 100 ans sont utilisées pour définir trois zones inondables souvent utilisées dans la prise de décision telle que l'aménagement du territoire. Afin de calculer les périodes de récurrence et de tracer les zones inondables, les experts se basent sur le débit historique des rivières et des modèles hydrologiques et hydrauliques ; c'est ce qu'on appelle les cartes ou la cartographie des zones inondables. Dans notre exercice de modélisation, les périodes de récurrence sont à la fois utilisées pour déterminer le niveau de risque *ex ante* des propriétés en fournissant de

l'information sur la fréquence anticipée des inondations, et à la fois pour déterminer si, dans une année donnée et pour une zone inondable précisée, il y a ou non occurrence d'une inondation via tirage de nombres aléatoires.

Toutefois, il convient de mentionner que la formulation précédente de la fréquence basée sur les périodes de récurrence peut porter à croire que les inondations sont cycliques (p. ex. une fois aux 20 ans) et que si une telle inondation survient, alors c'est qu'il n'y aura pas d'inondations comparables pour les 19 prochaines années. Or, il est tout à fait envisageable que plusieurs inondations surviennent dans un laps de temps court, même si ces inondations sont dites rares. Afin d'illustrer ce propos, nous avons calculé dans le Tableau 1 la distribution du nombre d'inondations sur une période de 25 ans⁶, période qui correspond généralement à l'amortissement d'une hypothèque. Notons que nous obtenons les résultats de cette table sous les hypothèses que les périodes de récurrence sont constantes dans le temps et que les inondations sont indépendantes et identiquement distribuées d'année en année. Nous retiendrons cette hypothèse d'indépendance tout au long de cet article. Une description exhaustive de l'algorithme de simulation est disponible en Annexe.

TABLEAU 1 *Distribution du nombre d'inondations sur une période de 25 ans*

RISQUE LIÉ À LA LOCALISATION ET TOPOGRAPHIE		NOMBRE D'INONDATIONS SUR 25 ANS					
Niveau de risque	Zone inondable	0	1	2	3	4	5 et +
Extrême	2 ans	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,01 %	0,04 %	99,95 %
Très élevé	10 ans	7,18 %	19,94 %	26,59 %	22,65 %	13,84 %	9,80 %
Élevé	20 ans	27,74 %	36,50 %	23,05 %	9,30 %	2,69 %	0,72 %
Non négligeable	100 ans	77,78 %	19,64 %	2,38 %	0,18 %	0,01 %	0,00 %
Faible	1 000 ans	97,53 %	2,44 %	0,03 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %

Par exemple, une propriété située dans une zone inondable de 20 ans a « seulement » 28 % de chance de ne subir aucune inondation durant une période de 25 ans, laissant 72 % de chance de subir au moins une inondation sur cette même période. Une propriété qui a une chance sur 100 d'être inondée dans une année (zone inondable de 100 ans) a 22 % de chances (100 % – 78 %) d'être inondée au moins une fois sur une période de 25 ans. Par conséquent, le risque d'inondation est loin

d'être négligeable sur 25 ans ce qui renforce l'idée qu'une projection des coûts des inondations à moyen et à long terme est nécessaire pour analyser les effets d'une limite à vie pour les inondations successives.

Intensité. L'intensité d'une inondation est souvent caractérisée par la profondeur de la submersion c'est-à-dire le niveau de l'eau par rapport au sol. Pour une récurrence donnée, la profondeur de la submersion sera différente de sorte que, par exemple, une inondation de récurrence 100 ans entraînera une profondeur de submersion plus grande (et des dommages plus importants) qu'une inondation de récurrence 20 ans. Par conséquent, l'intensité d'une inondation dépend de la récurrence observée dans notre modélisation.

Vulnérabilité et exposition. Plusieurs caractéristiques physiques sont utilisées dans la littérature scientifique pour différencier la vulnérabilité des bâtiments. À titre d'exemple, Leclerc et al. (2003) jumèlent la valeur des propriétés, le nombre d'étages, le type de construction et l'élévation du premier plancher à la profondeur de submersion pour estimer les dommages directs découlant d'inondations. Or, parmi toutes les caractéristiques physiques des immeubles, il est reconnu depuis Grigg and Helweg (1975) que la hauteur des premiers planchers est la variable la plus déterminante dans l'analyse. Conséquemment, et afin de simplifier la présentation de l'analyse, nous définissons deux types de bâtiments selon la rapidité à laquelle l'eau atteint et dépasse le premier plancher.

1. Faible exposition. Un bâtiment dont la construction et la localisation font en sorte qu'en fonction de la profondeur de submersion, l'infiltration d'eau débute par le sous-sol avant d'atteindre le premier plancher. Les dommages sont donc relativement petits pour de faibles profondeurs de submersion avant d'augmenter sensiblement lorsque l'eau atteint et dépasse le premier plancher, jusqu'à entraîner la perte totale de l'immeuble pour des profondeurs de submersion importantes.
2. Haute exposition. Un bâtiment dont la construction et la localisation font en sorte que l'eau atteint directement et rapidement le premier plancher et cause dès le départ des dommages relativement importants qui augmentent en fonction de la profondeur de submersion jusqu'à une perte totale.

Pour simplifier l'exposé, nous assumerons que les dommages causés par les inondations affectent uniquement les bâtiments et que le bâtiment considéré est un bungalow (bâtiment à un étage) d'une valeur de 250 000 \$. À titre indicatif, l'Institut de la statistique du Québec

dénombrer près de 1 800 000 résidences unifamiliales dans la province en 2019 avec une valeur imposable moyenne de 275 000 \$⁸ (comprenant le bâtiment et le terrain).

Dommmages directs. Les dommages causés par une inondation à un bâtiment et à son contenu (meubles, électroménagers, etc.) sont multiples. En effet, à mesure que l'eau s'infiltré au sous-sol, elle atteint l'intérieur des murs, le plancher du sous-sol, les prises électriques, le système de chauffage, de climatisation et de ventilation, la structure du premier plancher, etc. En réalité, les dommages directs incluent évidemment les coûts de reconstruction, mais également les coûts de nettoyage, le remplacement des meubles et électroménagers, les travaux de rétablissement du terrassement et les frais de relocalisation temporaires. Dans la littérature, ces dommages directs sont modélisés par une courbe de dommage ou une courbe de submersion-dommage. Toutefois, les inondations entraînent aussi d'autres types de dommages indirects qui ne seront pas pris en compte dans cette étude. Ces dommages indirects sont souvent difficiles à estimer et représentent un coût pour la société parfois supérieur au coût des dommages directs (Green & Penning-Rowsell, 1989; Lekuthai & Vongvisessomjai, 2001).⁹

Dans nos simulations, les dommages sont exprimés sous la forme d'un pourcentage de la valeur du bâtiment qui est associé à chaque période de récurrence et chaque type de propriété. Ces pourcentages sont inspirés des courbes de dommage présentées à l'annexe B du *Canadian Guidelines and Database of Flood Vulnerability Functions* (Natural Resources Canada & Public Safety Canada, 2017). Nous procédons un peu plus simplement en associant chaque couple zone inondable – récurrence d'un événement extrême à un pourcentage de dommage sans modéliser explicitement les profondeurs de submersion réalisées. Le tableau 2 décrit les hypothèses de dommages utilisées dans la suite de notre modélisation.

En termes de procédure de simulation, nous débutons par fixer de façon exogène le type ainsi que le niveau de risque *ex-ante* d'une propriété. Par la suite, nous générons 100 000 scénarios. Dans chaque scénario, nous tirons un nombre aléatoire par année, et ce, pour 25 années consécutives afin de caractériser la crue des eaux par période de récurrence. Nous transformons ensuite cette période de récurrence en pourcentage de dommages à partir des données du tableau 2.

Il convient de noter que nous assumons que les inondations n'ont pas d'effet à long terme sur les valeurs des propriétés. En d'autres mots, nous faisons l'hypothèse que les propriétés sont reconstruites

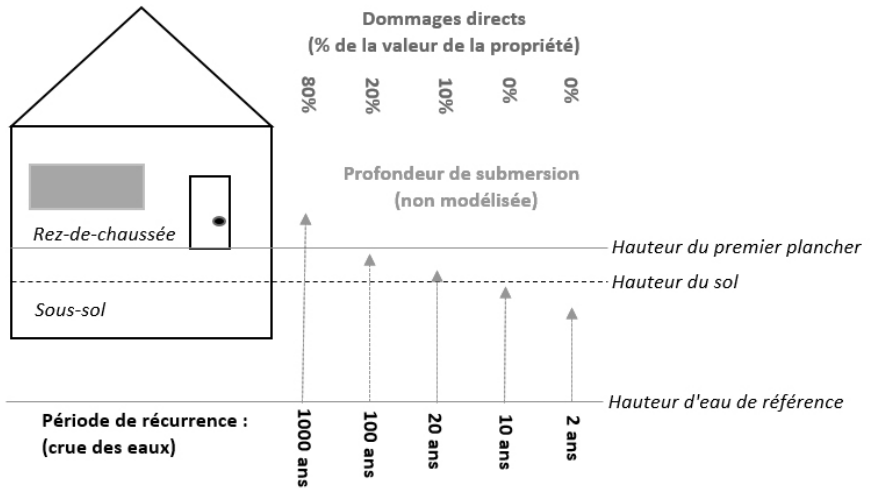
TABLEAU 2 *Hypothèses de dommages exprimés en pourcentage de la valeur d'un bâtiment selon le niveau de risque et le type de propriété.*

TYPE DE PROPRIÉTÉ	RISQUE LIÉ À LA LOCALISATION ET TOPOGRAPHIE		INTENSITÉ DE L'INONDATION (EXPRIMÉE EN TERMES DE PÉRIODE DE RÉCURRENCE)				
	Niveau de risque	Zone inondable	2 ans	10 ans	20 ans	100 ans	1 000 ans
Faible exposition	Extrême	2 ans	10%	15%	20%	80%	100%
	Très élevé	10 ans	0%	10%	15%	25%	90%
	Élevé	20 ans	0%	0%	10%	20%	80%
	Non négligeable	100 ans	0%	0%	0%	10%	25%
	Faible	1 000 ans	0%	0%	0%	0%	10%
Haute exposition	Extrême	2 ans	50%	70%	80%	90%	100%
	Très élevé	10 ans	0%	50%	60%	80%	90%
	Élevé	20 ans	0%	0%	50%	70%	90%
	Non négligeable	100 ans	0%	0%	0%	50%	80%
	Faible	1 000 ans	0%	0%	0%	0%	50%

ou réparées à la suite de chaque inondation de façon à ce que la valeur du bâtiment l'année suivante demeure fixe à 250 000 \$. D'un côté, cette hypothèse peut entraîner une sous-estimation de la valeur des dommages cumulés à travers le temps si le marché immobilier est en croissance. D'un autre côté, cette hypothèse peut entraîner une surestimation de la valeur des dommages cumulés si les inondations entraînent une perte de valeur à long terme pour les propriétés sinistrées.¹⁰

La figure 2 illustre de façon schématisée le lien entre la période de récurrence de la crue des eaux et le pourcentage de dommage découlant d'une inondation pour une propriété à faible exposition située dans une zone inondable de 20 ans. Une plus grande période de récurrence (p. ex. 100 ans plutôt que 10 ans) implique une plus grande profondeur de submersion. Plus la période de récurrence observée est importante, plus l'eau endommage une grande proportion de la propriété. Cette logique est d'ailleurs à la base des courbes de dommages exprimées en fonction de la hauteur de submersion utilisées depuis les années 1970 pour évaluer les dommages potentiels des inondations en zone urbaine au Québec (e.g. Bonnifait & Leclerc, 2004).

■ FIGURE 2 Période de récurrence et dommages directs pour une propriété à faible exposition située dans une zone 20 ans



Puisque cette propriété est située dans une zone inondable de 20 ans, les crues printanières ou autres événements climatiques de faible sévérité relative (ceux de récurrence 2 ans ou 10 ans) n'entraînent pas de dommages à la propriété alors que toutes les crues de récurrence supérieure ou égale à 20 ans entraîneront des dommages. Par exemple, une crue se produisant en moyenne une fois tous les 100 ans (période de récurrence de 100 ans) entraîne des dommages directs équivalant à 20% de la valeur du bâtiment. Sachant que le bâtiment type vaut 250 000 \$, cela se traduit par des dommages de 50 000 \$.

4. RÉSULTATS

4.1. Dommages totaux anticipés sur 25 ans

La première résultante de l'exercice de simulations est un ensemble de 100 000 trajectoires de dommages sur 25 ans pour chaque propriété caractérisée par son type et son niveau de risque. Ces trajectoires fournissent une information importante sur les conséquences monétaires prévisibles découlant du risque d'inondation. Sans surprise, un classement de ces trajectoires selon les dommages totaux cumulés sur 25 ans permet d'observer que les premières trajectoires sont celles où pas ou peu d'inondations surviennent sur l'horizon de 25 ans alors que les dernières représentent les cas les plus critiques où plusieurs

inondations extrêmes sont survenues sur la même période. Nous utilisons ce classement des trajectoires dans le Tableau 3 pour illustrer les dommages qu'une propriété pourrait subir selon la trajectoire médiane (50^e percentile) et quelques trajectoires plus affectées par les inondations (75^e au 99^e percentile). Rappelons que plus le percentile est important, plus la trajectoire représentée implique d'inondations sérieuses et dommageables. Nous présentons au sein du même tableau le dommage annuel moyen que nous interpréterons un peu plus loin.

Afin de lire le Tableau 3, il faut d'abord choisir un niveau de risque qui se traduit par l'appartenance à une zone inondable, ainsi qu'un type de propriété. Par exemple, pour une propriété à faible exposition située dans une zone inondable de 20 ans (probabilité annuelle d'inondation de 5%), le scénario médian implique des coûts totaux sur 25 ans de 37 500 \$. Si les crues extrêmes sont plus nombreuses que la médiane au cours des 25 prochaines années, alors les coûts totaux seront également plus importants. Dans le 99 000^e « pire » scénario (99^e percentile), les coûts cumulés se chiffrent à 250 000 \$. Il va sans dire qu'un ménage détenant une telle propriété a une probabilité non négligeable de subir des pertes qui excéderont une limite à vie en aide de dernier recours de 100 000 \$.

Nous pouvons aisément constater à la lumière des résultats précédents que les pertes engendrées par les inondations successives peuvent parfois être nulles ou très grandes, et parfois suffisamment grandes pour précariser les finances personnelles. La sous-section suivante examine comment s'insère l'assurance inondation pour répondre à ce besoin de transfert des risques.

4.2. Assurance inondation

Au Canada, les inondations causées par les débordements de cours d'eau ne sont pas couvertes dans les polices d'assurance habitation de base. La couverture pour débordement de cours d'eau a été introduite comme avenant (protection supplémentaire facultative) par quelques assureurs en 2015-2016 et est désormais commune. Toutefois, la disponibilité, la couverture et la prime pour cet avenant peuvent être très différentes d'un assureur à l'autre pour la même propriété, et évidemment différer encore davantage pour des propriétés situées dans des quartiers différents. L'assurance inondation, lorsqu'elle est disponible, est souvent combinée avec l'avenant pour le refoulement d'égout. Selon le Bureau d'assurance du Canada, environ 30% des assurés (avril 2019) se sont procuré une couverture pour le débordement de cours d'eau.

■ **TABLEAU 3** *Distribution des coûts totaux pour les inondations sur une période de 25 ans pour un bâtiment d'une valeur de 250 000 \$*

TYPE DE PROPRIÉTÉ	RISQUE LIÉ À LA LOCALISATION ET TOPOGRAPHIE		DOMMAGES TOTAUX ANTICIPÉS SUR 25 ANS (EN \$) SELON DIVERS SCÉNARIOS					DOMMAGE ANNUEL MOYEN (EN \$)
	Niveau de risque	Zone inondable	50 ^e percentile	75 ^e percentile	90 ^e percentile	95 ^e percentile	99 ^e percentile	
Faible exposition	Extrême	2 ans	462 500	575 000	675 000	750 000	900 000	19 264
	Très élevé	10 ans	87 500	125 000	200 000	262 500	350 000	3 968
	Élevé	20 ans	37 500	62 500	100 000	150 000	250 000	1 892
	Non négligeable	100 ans	0	0	37 500	50 000	75 000	332
	Faible	1 000 ans	0	0	0	0	25 000	24
Haute exposition	Extrême	2 ans	1 800 000	2 050 000	2 275 000	2 412 500	2 675 000	71 872
	Très élevé	10 ans	325 000	500 000	675 000	775 000	975 000	14 612
	Élevé	20 ans	150 000	275 000	400 000	475 000	625 000	7 128
	Non négligeable	100 ans	0	0	150 000	175 000	300 000	1 408
	Faible	1 000 ans	0	0	0	0	125 000	120

La composante la plus importante de la prime d'assurance est liée aux coûts anticipés des inondations. Puisque les contrats d'assurance habitation sont généralement d'une durée d'un an, cette prime dépend donc avant tout de la valeur anticipée des dommages annuels moyens. Avant d'aller plus loin, il est important de préciser que le dommage annuel moyen ne correspond pas directement aux primes d'assurance. Afin d'obtenir une idée plus juste de la prime, il faut prendre en compte la liste des éléments couverts (biens meubles, frais de subsistance, etc.) et des plafonds de couverture éventuels. Il faut également ajouter les coûts d'émission du contrat et autres dépenses engagées par la compagnie, ainsi qu'une marge de sécurité qui reflète l'imprévisibilité et la difficulté à diversifier le risque d'inondation. Par conséquent, la prime d'assurance réelle pourrait être 2 à 3 fois plus élevée que les dommages annuels moyens présentés au Tableau 3. Il n'en demeure pas moins que même si chaque assureur dispose de ses propres modèles d'évaluation du risque d'inondation, la dernière colonne du Tableau 3 fournit une information de premier ordre par rapport aux montants qu'un ménage pourrait devoir déboursier en échange d'une couverture d'assurance inondation.

Comme nous le constatons, les dommages annuels moyens peuvent découler en des primes d'assurance prohibitives, dépassant rapidement les 1 000 \$ par an pour les propriétés à haute exposition et celles à risque élevé d'inondation. Il en résulte que l'assurance inondation n'est souvent simplement pas offerte aux propriétés situées dans les zones inondables de récurrence 2 à 20 ans et est très dispendieuse dans les zones inondables 20 à 100 ans (<https://bac-quebec.qc.ca/fr/enjeux-en-assurance-de-dommages/inondations/>). Afin de limiter les montants des primes, les couvertures d'assurance inondation sont plafonnées à 50 000 \$ ou 100 000 \$, mais de tels plafonds ne sont souvent pas suffisants pour couvrir les coûts nécessaires pour nettoyer, réparer et remeubler une propriété inondée.

Lorsque l'avenant débordement de cours d'eau n'est pas offert, comme c'est le cas pour plusieurs propriétés québécoises situées dans les zones inondables de 2 ans à 20 ans, les citoyens doivent se fier sur le Programme d'aide financière de dernier recours offert par le *Programme général d'indemnisation et d'aide financière lors de sinistres réels ou imminents*, géré par le Ministère de la Sécurité publique du Québec. En bref, malgré le développement récent de nouvelles protections d'assurance inondation, une grande partie des propriétés à haut risque d'inondation ne seront pas en mesure de s'assurer contre ce risque et dépendront donc de l'aide financière de dernier recours en cas d'inondation. Dans le futur, ces ménages devront donc assumer les

dommages excédant l'indemnité maximale de 100 000 \$ à vie ou se prévaloir des options d'immunisation ou de relocalisation prévues au Programme.

4.3. (In)suffisance d'une limite à vie

Pour les citoyens qui n'ont pas accès à une assurance inondation, il est important de comprendre les implications financières d'une limite à vie de 100 000 \$ dans l'aide de dernier recours avant de choisir entre réparer et rester, immuniser ou déplacer la propriété. Les calculs précédents fournissent de l'information sur les probabilités d'inondations (Tableau 1) et les dommages découlant de ces inondations (Tableau 3). Dans cette sous-section, nous combinons ces deux jeux de résultats pour estimer la probabilité qu'une propriété subisse des pertes cumulées supérieures à 100 000 \$ sur 25 ans, ainsi que la charge financière qui sera exclusivement assumée par les ménages propriétaires.

■ **TABLEAU 4** *Probabilité de cumuler des pertes supérieures à 100 000 \$ et perte conditionnelle au-delà de 100 000 \$*

TYPE DE PROPRIÉTÉ	RISQUE LIÉ À LA LOCALISATION ET TOPOGRAPHIE		PROBABILITÉ DE FRANCHIR LA LIMITE DE 100 000 \$	PERTE MOYENNE EN EXCÈS DE 100 000 \$
	Niveau de risque	Zone inondable		
Faible exposition	Extrême	2 ans	100,0%	381 700 \$
	Très élevé	10 ans	35,9%	79 000 \$
	Élevé	20 ans	9,9%	72 000 \$
	Non négligeable	100 ans	0,1%	19 300 \$
	Faible	1 000 ans	0,0%	0 \$
Haute exposition	Extrême	2 ans	100,0%	1 696 800 \$
	Très élevé	10 ans	92,7%	293 900 \$
	Élevé	20 ans	72,2%	147 000 \$
	Non négligeable	100 ans	22,0%	59 800 \$
	Faible	1 000 ans	2,4%	26 100 \$

À la lumière des résultats du Tableau 4, nous constatons qu'il est fréquent pour une propriété située dans une zone inondable non assurable de subir des dommages de plus de 100 000 \$ sur une durée de 25 ans. Par exemple, un bâtiment de 250 000 \$ à faible exposition située dans une zone inondable de 20 ans a une chance sur 10 de

cumuler au-delà de 100 000 \$ sur cet horizon. Cette probabilité est de 72% pour une propriété hautement exposée aux inondations. Lorsque les pertes dépassent 100 000 \$ pour ces propriétés, il faut donc s'attendre à payer en moyenne 72 000 \$ ou près de 150 000 \$ selon le type de propriété (en plus des 100 000 \$ octroyés par le programme d'aide financière). Toutefois, puisqu'il s'agit d'une moyenne sur les scénarios où les pertes dépassent 100 000 \$, il est tout à fait possible de payer davantage que les montants affichés au Tableau 4.

Considérant que la propriété-type dans notre analyse vaut 250 000 \$, ce sont donc des déboursés très importants pouvant facilement excéder 50% de la valeur du bâtiment qui se retrouvent sur les épaules des ménages. Il convient ici de rappeler que nos simulations portent sur un bâtiment valant 250 000 \$. Or la limite à vie de 100 000 \$ demeure la même pour les propriétés plus luxueuses. Par conséquent, les sinistrés possédant des propriétés valant plus doivent nécessairement assumer davantage de pertes. En conservant les autres hypothèses de simulation constantes, un bâtiment de 500 000 \$ à faible exposition située dans une zone inondable 20 ans aura 30% de chance de subir des pertes excédant 100 000 \$ sur 25 ans. La perte moyenne dépassant 100 000 \$ sera alors de 116 000 \$.

Pour assumer de tels coûts, il faut donc que le sinistré puise dans ses économies personnelles et/ou emprunte (par exemple en ré-hypothéquant sa propriété), ce qui augmente significativement son risque d'insolvabilité. En l'absence d'épargnes accumulées et en présence d'une capacité d'emprunt limité, un sinistré pourrait alors devoir déclarer faillite.

4.4. Risque d'insolvabilité des sinistrés

Dans cette sous-section, nous analysons le risque d'insolvabilité¹¹ d'un sinistré ayant fait l'acquisition de sa propriété au temps 0 et subissant une ou plusieurs inondations successives sur une période de 25 ans dans un contexte où l'assurance inondation n'est pas disponible.

Il est évidemment difficile d'analyser exhaustivement toutes les situations financières possibles. Pour y parvenir, nous posons quelques hypothèses simplificatrices. Nous assumons que :

- La capacité d'emprunt des ménages et le montant emprunté correspondent à 250 000 \$, c'est-à-dire 100% de la valeur du bâtiment. Compte tenu de la valeur du terrain, il est donc possible que la capacité d'emprunt maximale corresponde à environ 70-80% de la valeur totale de l'immeuble (terrain et bâtiment).

- La seule épargne disponible pour les ménages provient donc de la différence entre la capacité d'emprunt et le solde du prêt hypothécaire.
- La valeur de la propriété demeure constante au fil du temps. De façon équivalente pour nos besoins, la croissance de valeur des propriétés à travers le temps est parfaitement égale à la perte de valeur des bâtiments à la suite d'une inondation (une fois les réparations complétées).

Dans nos simulations, l'insolvabilité survient lorsque les dommages découlant des inondations ne sont pas couverts par l'aide financière de dernier recours et excèdent l'épargne disponible et la capacité d'emprunt des ménages. La faillite survient donc lorsque la valeur des actifs est inférieure à la valeur des dettes.

Notre définition de faillite sous-estime probablement la probabilité de faillite réelle des ménages. En effet, de nombreuses faillites personnelles découlent de problèmes de liquidité faisant suite à un défaut de paiement lorsque le ménage ne parvient pas à s'acquitter du paiement périodique de son prêt hypothécaire, et ce, même si le ménage possède des actifs dont la valeur excède celle de ses créances. Les hypothèses simplificatrices que nous posons nous permettent néanmoins de comparer les coûts d'une ou plusieurs inondations en tenant compte du moment où celles-ci surviennent, par rapport à la valeur nette du ménage qui s'accroît avec le temps.

Sachant que des inondations entraînant relativement peu de dommages en excès de 100 000 \$ ont le potentiel d'entraîner une faillite particulièrement dans les premières années suivant l'acquisition d'une propriété (faible valeur nette puisque solde hypothécaire élevé), il convient d'analyser le moment où la limite à vie de 100 000 \$ est dépassée avant d'examiner formellement la probabilité de faillite. Le Tableau 5 dévoile le résultat de cette analyse.

Toute chose étant égale par ailleurs, les dommages excédant 100 000 \$ surviennent plus tôt lorsque le risque *ex ante* est plus élevé. Il y a tout de même 1% des trajectoires où les propriétés à faible exposition situées dans une zone inondable de 20 ans utilisent toute l'aide de dernier recours disponible en 5 ans ou moins. Ce pourcentage grimpe à 22,6% pour les propriétés à haute exposition dans la même zone inondable. Ceci fournit une première indication que le risque de faillite découlant de la limite à vie en aide de dernier recours est non négligeable.

■ TABLEAU 5 *Moment où la limite à vie de 100 000 \$ est dépassée pour un emprunt de 250 000 \$*

RISQUE LIÉ À LA LOCALISATION ET TOPOGRAPHIE							
TYPE DE PROPRIÉTÉ	Niveau de risque	Zone inondable	MOMENT OÙ LA LIMITE DE 100 000 \$ EST FRANCHIE				
			0-5 ans	6-10 ans	11-15 ans	16-20 ans	21-25 ans
Faible exposition	Extrême	2 ans	32,5 %	52,6 %	13,2 %	1,6 %	0,2 %
	Très élevé	10 ans	2,4 %	4,7 %	7,7 %	10,1 %	11,1 %
	Élevé	20 ans	1,0 %	1,4 %	1,9 %	2,5 %	3,1 %
	Non négligeable	100 ans	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,1 %
	Faible	1 000 ans	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Haute exposition	Extrême	2 ans	96,8 %	3,0 %	0,1 %	0,0 %	0,0 %
	Très élevé	10 ans	41,1 %	24,2 %	14,1 %	8,4 %	4,9 %
	Élevé	20 ans	22,6 %	17,5 %	13,5 %	10,5 %	8,1 %
	Non négligeable	100 ans	4,9 %	4,6 %	4,5 %	4,1 %	4,0 %
	Faible	1 000 ans	0,5 %	0,5 %	0,5 %	0,5 %	0,5 %

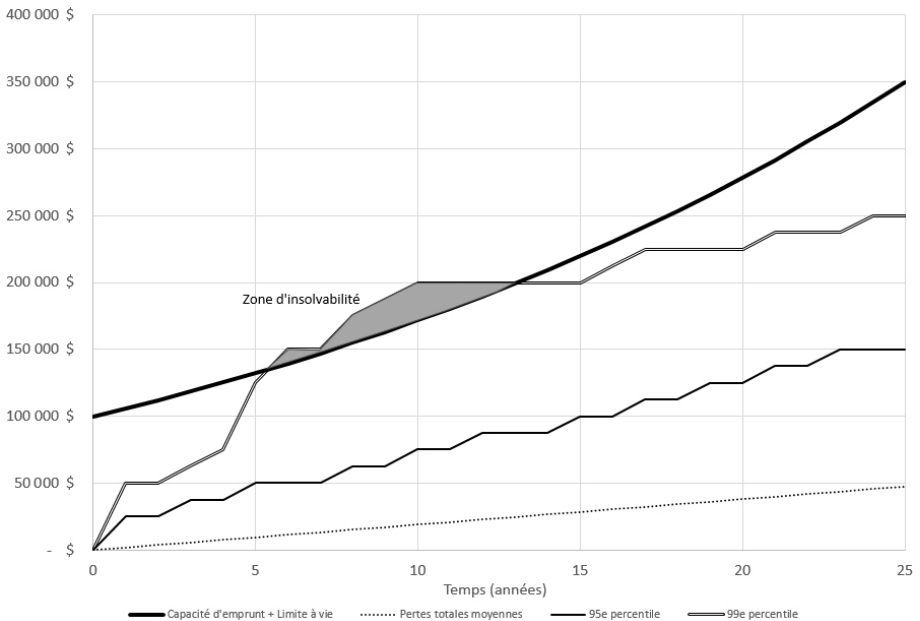
Nous poursuivons notre exercice de modélisation pour quantifier plus précisément le risque de faillite. Cette fois, nous comparons la valeur nette au coût des dommages liés aux inondations qui excède 100 000 \$. La Figure 3 illustre ce risque de faillite pour un ménage détenant une propriété à faible exposition située dans une zone inondable 20 ans.

Le plafond de 100 000 \$ à l'aide de dernier recours vient éponger une partie significative des pertes dans la majorité des trajectoires de crue des eaux sur 25 ans. Dans le 95^e 000^e «pire» scénario (95^e percentile), les coûts cumulés franchissent la limite de 100 000 \$ environ 15 ans après l'acquisition de la propriété. À ce moment, le ménage propriétaire a toutefois accumulé suffisamment d'épargne sous forme de valeur nette pour éponger les pertes excédant 100 000 \$. Dans le 99^e 000^e «pire» scénario (99^e percentile), les coûts cumulés franchissent la limite de 100 000 \$ bien plus rapidement, soit seulement quatre ans après l'acquisition de la propriété. Les pertes des années subséquentes sont donc à la charge du ménage propriétaire et ce dernier épuise ses ressources financières. Selon ce scénario, le ménage se retrouvera en situation de faillite environ 6 ans après l'imposition de la limite de 100 000 \$. Notre analyse révèle que la grande majorité des situations

d'insolvabilité surviennent dans les 10 années suivant l'acquisition. Incidemment, nous examinerons tout particulièrement le risque de faillite durant cet horizon critique.

La zone d'insolvabilité de la Figure 3 peut également s'exprimer par une probabilité de faillite. En tenant compte de tous les scénarios, un ménage dont la propriété est à faible exposition et située dans une zone inondable de 20 ans a environ 1,8% de faire faillite dans les 10 années suivant l'acquisition.

■ FIGURE 3 *Risque d'insolvabilité d'un ménage détenant une propriété à faible exposition située dans une zone inondable 20 ans*



Sans surprise, la probabilité de faillite croît avec le niveau de risque *ex ante* et est aussi plus importante pour les propriétés à haute exposition. Le Tableau 6 expose le risque de faillite selon le type de propriété et le niveau de risque *ex ante*. Nous présentons également le résultat de simulations pour lesquelles la valeur des bâtiments est fixée à 500 000 \$ en conservant les autres paramètres inchangés.

Nous constatons au Tableau 6 que la probabilité d'insolvabilité dans les 10 premières années varie entre 2% et 40% selon le type et la valeur de la propriété quand celle-ci est située dans une zone inondable 20 ans.

TABLEAU 6 *Probabilité d'insolvabilité sur 10 ans*

TYPE DE PROPRIÉTÉ	RISQUE LIÉ À LA LOCALISATION ET TOPOGRAPHIE		PROBABILITÉ D'INSOLVABILITÉ SUR 10 ANS	
	Niveau de risque	Zone inondable	Bâtiment de 250 000 \$	Bâtiment de 500 000 \$
Faible exposition	Extrême	2 ans	57,7 %	85,9 %
	Très élevé	10 ans	4,0 %	10,0 %
	Élevé	20 ans	1,8 %	3,3 %
	Non négligeable	100 ans	0,0 %	0,2 %
	Faible	1 000 ans	0,0 %	0,0 %
Haute exposition	Extrême	2 ans	99,5 %	99,9 %
	Très élevé	10 ans	50,1 %	65,2 %
	Élevé	20 ans	26,9 %	40,1 %
	Non négligeable	100 ans	5,7 %	9,5 %
	Faible	1 000 ans	0,4 %	1,0 %

Donc, à moins d'avoir des économies importantes de côté et/ou que la mise de fonds soit substantielle (valeur nette initiale plus élevée), les 10 premières années suivant l'acquisition d'une propriété peuvent être critiques pour la solvabilité d'un emprunteur dont la propriété est située en zone inondable. En effet, une limite à vie de 100 000 \$ pour inondations successives combinée à un solde hypothécaire élevé en début d'amortissement limite la capacité financière d'un sinistré à réparer les dommages à sa propriété, diminuant la valeur de celle-ci et augmentant le risque d'insolvabilité de l'emprunteur.

Et il est important de souligner que cette analyse peut sous-estimer le risque réel d'insolvabilité en raison des autres coûts indirects des inondations qui n'ont pas été considérés. Par exemple, le programme d'aide couvre les réparations et biens meubles jugés essentiels ce qui réduit l'indemnité reçue pour le reste des dommages non moins significatifs. Il s'ensuit que la limite à vie est atteinte moins rapidement, mais le sinistré aura des déboursés plus importants plus tôt, augmentant le risque d'insolvabilité à court terme. L'analyse exclut également la perte de revenus pendant et après les inondations et la pression exercée sur les liquidités disponibles, ce qui sous-estime également le risque d'insolvabilité.

5. SENSIBILITÉ DES RÉSULTATS

Jusqu'à maintenant, nous avons supposé que les probabilités annuelles d'inondation demeureraient constantes à travers le temps. Toutefois, il y a plusieurs raisons qui peuvent affecter l'évolution du risque d'inondation. L'aménagement du territoire et les changements climatiques contribuent à augmenter dans plusieurs régions du Québec le risque d'inondation (le premier affectant la vulnérabilité et le second, l'aléa). Depuis le Plan d'action mis en place par le Ministère de la Sécurité publique au printemps 2018, les Communautés métropolitaines de Montréal (CMM) et de Québec (CMQ), les municipalités régionales de comté (MRC) et l'organisme Ouranos travaillent à mettre à jour la cartographie des zones inondables en tenant compte de l'évolution de l'occupation du territoire et des changements climatiques.

Au Québec, le débordement de cours d'eau est caractérisé par trois régimes hydrologiques saisonniers : hiver, printemps et été-automne. En hiver, les inondations peuvent être dues aux embâcles et débâcles alors que pour les inondations printanières, la fonte des neiges est un élément central. À l'été et à l'automne, ce sont surtout les précipitations extrêmes qui affectent le débit des cours d'eau. L'augmentation des températures due aux changements climatiques pourrait accroître le nombre d'épisodes de précipitations extrêmes ainsi que leur intensité dans plusieurs régions de la planète (IPCC, 2019). Mais compte tenu du climat hivernal québécois, le réchauffement des températures affectera également de façon non triviale les régimes hydrologiques d'hiver et de printemps.

Dans le cadre du Forum inondation 2017 organisé par le Ministère québécois de l'environnement (MDDELCC), l'organisme Ouranos a publié une fiche synthèse¹² résumant l'impact attendu des changements climatiques sur les inondations au sud du Québec. L'organisme souligne l'importance de la taille du bassin versant sur les tendances futures, et qu'en général, le risque d'inondation ne décroîtra pas : la tendance semble en fait plutôt incertaine sur les grands bassins versants et à la hausse pour les plus petits bassins.

Cela étant dit, il est possible d'analyser la sensibilité des résultats par rapport à la fréquence et la sévérité des inondations en comparant deux périodes de récurrence. Par exemple, en supposant qu'une propriété située dans une zone inondable 20 ans devienne deux fois plus risquée dans la nouvelle cartographie, soit en raison de la mise à jour de l'aménagement ou en raison de l'évolution du climat, il suffit alors de comparer un résultat avec la zone inondable 10 ans. On peut alors

constater que la probabilité d'insolvabilité passe de 1,8% à 4% pour une propriété à faible exposition en comparant la zone inondable 20 ans et 10 ans. On obtient des résultats similaires dans plusieurs autres contextes.

6. CONCLUSION

En avril 2019, le gouvernement du Québec a annoncé une refonte importante de son Programme d'aide financière aux sinistrés en introduisant une couverture limitée à vie de 100 000 \$ pour les inondations successives, une première au Canada. L'instauration d'un plafond à vie représente un réel changement de paradigme qui témoigne d'un manque d'acceptabilité sociale à ce que l'ensemble des contribuables assume le risque financier d'inondations répétées d'une minorité de propriétés. Ce transfert d'une partie du fardeau financier de la société vers les ménages à haut risque peut potentiellement améliorer la prise de conscience du risque et responsabiliser les ménages. Toutefois, pour les propriétaires d'immeubles situés dans des zones inondables, la prise de décisions en matière de gestion du risque est difficile, car l'information nécessaire sur la fréquence et la sévérité des inondations est incomplète, imparfaite et complexe. Dans cette situation, comment un ménage venant de vivre un sinistre majeur peut-il prendre une décision éclairée de se relocaliser ou d'immuniser, déplacer, reconstruire ou réparer sa propriété?

Cet article fournit un premier ensemble de connaissances sur les effets directs d'une limite à vie dans un programme d'aide financière aux sinistrés. En utilisant une approche par simulations, nous modélisons les dommages cumulés anticipés sur une période de 25 ans pour une propriété caractérisée par son niveau de risque et son niveau d'exposition. Nous déterminons l'importance des pertes qui seront dorénavant à la charge des ménages ainsi que leur moment d'occurrence.

Nos résultats indiquent que l'introduction d'une limite à vie pourrait sensiblement augmenter le risque d'insolvabilité des ménages surtout lorsque la propriété est située dans une zone inondable risquée ou que le type de propriété et sa localisation l'exposent rapidement à des dommages. Nous avons constaté que le risque d'insolvabilité est alors significatif dans les dix premières années d'une hypothèque (amortie sur 25 ans) car lorsque la première, la seconde, voire la troisième inondation survient, le solde hypothécaire est encore élevé par rapport à l'emprunt original. Par conséquent, l'introduction d'une limite à vie

dans le Programme d'aide financière du gouvernement québécois pourrait avoir des impacts financiers réels sur les ménages et les institutions financières.

De plus, tout porte à croire que nous sous-estimons également le risque réel d'insolvabilité pour une majorité de ménages québécois, car (1) le Programme d'aide financière du gouvernement québécois ne couvre que les dommages et les biens dits essentiels ou de dernier recours, ce qui est en deçà des dommages directs réels et que (2) les dommages indirects comme la perte de salaire et les problèmes de santé durant le processus de rétablissement accentuent la pression sur les finances de ces ménages.

La refonte du Programme d'aide financière marque un changement important dans la gestion des inondations au Québec. En transférant une partie significative des coûts des inondations futures sur les riverains tout en les encourageant à immuniser, voire déplacer leur propriété, le gouvernement du Québec a clairement créé un nouveau pacte social avec ses citoyens. Avant que les effets réels de cette limite à vie apparaissent dans quelques années, il nous apparaît plus pressant que jamais de débattre du rôle des citoyens, des assureurs et des gouvernements (municipal, provincial et fédéral) dans le partage des risques financiers des inondations au Québec et au Canada afin de trouver une solution équitable et durable face aux changements climatiques.

7. RÉFÉRENCES

- [1] Belanger, P., & Bourdeau-Brien, M. (2018). The impact of flood risk on the price of residential properties: the case of England. *Housing Studies*, 33(6), 876–901. <https://doi.org/10.1080/02673037.2017.1408781>
- [2] Bélanger, P., Bourdeau-Brien, M., & Dumestre, M. (2018). The Impact of Flood Zones on Residential Property Prices: The Case of Canada. *Journal of Sustainable Real Estate*, 10(1), 135–162. <https://doi.org/10.5555/1949-8276.10.1.135>
- [3] Beltrán, A., Maddison, D., & Elliott, R. (2019). The impact of flooding on property prices: A repeat-sales approach. *Journal of Environmental Economics and Management*, 95, 62–86. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.02.006>
- [4] Bonnifait, L. & Leclerc, M. (2004). Construction de courbes niveau-dommages pour l'habitat québécois. Pour le compte d'Environnement Canada. Rapport INRS-ÉTÉ #R-728. <http://espace.inrs.ca/id/eprint/673/1/R000728.pdf>

- [5] Bureau d'assurance du Canada (2015). *La gestion financière du risque d'inondation*. http://assets.abc.ca/Documents/Natural%20Disasters/The_Financial_Management_of_Flood_Risk_FR.pdf
- [6] Bureau d'assurance du Canada. (2018). *Assurances de dommages au Canada*. http://assets.abc.ca/Documents/Facts%20Book/Facts_Book/2018/IBC-Fact-Book-2018-FR.pdf
- [7] Gouvernement du Canada (2019). *Rapport sur le climat changeant du Canada* (p. 446). Bush, E., & Lemmen, D. S. (eds). <https://changingclimate.ca/CCCR2019/fr/>
- [8] Green, C. H., & Penning-Rowsell, E. C. (1989). Flooding and the Quantification of 'Intangibles.' *Water and Environment Journal*, 3(1), 27–30. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.1989.tb01363.x>
- [9] Grigg, N. S., & Helweg, O. J. (1975). State-of-the-Art of Estimating Flood Damage in Urban Areas1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 11(2), 379–390. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1975.tb00689.x>
- [10] IPCC (2019). *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J. B. R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M. I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M., & Waterfield, T. (Eds.). https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf
- [11] Jessica Lamond, & David Proverbs. (2006). Does the price impact of flooding fade away? *Structural Survey*, 24(5), 363–377. <https://doi.org/10.1108/02630800610711960>
- [12] Jung, D. (2019, April 18). Difficile de s'assurer contre les inondations | Crue printanière 2019. *Radio-Canada.ca*. <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1165169/catastrophe-assurance-crues-inondations-indemnisations>
- [13] Kellens, W., Terpstra, T., & Maeyer, P. D. (2013). Perception and Communication of Flood Risks: A Systematic Review of Empirical Research. *Risk Analysis*, 33(1), 24–49. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2012.01844.x>
- [14] Leclerc, M., Secretan, Y., Heniche, M., Ouarda, T. B. M. J., & Marion, J. (2003). Une méthode prédictive non biaisée et géoréférencée d'estimation des dommages résidentiels d'inondation. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(5), 914–922. <https://doi.org/10.1139/103-065>

- [15] Lekuthai, A., & Vongvisessomjai, S. (2001). Intangible Flood Damage Quantification. *Water Resources Management*, 15(5), 343–362. <https://doi.org/10.1023/A:1014489329348>
- [16] Luechinger, S., & Raschky, P. (2009). Valuing flood disasters using the life satisfaction approach. *Journal of Public Economics*, 93(3), 620–633. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2008.10.003>
- [17] Natural Resources Canada, & Public Safety Canada. (2017). *Canadian Guidelines and Database of Flood Vulnerability Functions* (Canadian Floodplain Mapping Guidelines Series, p. 228). Gouvernement du Canada.
- [18] Thistlethwaite, J., Henstra, D., Brown, C., & Scott, D. (2018). How Flood Experience and Risk Perception Influences Protective Actions and Behaviours among Canadian Homeowners. *Environmental Management*, 61(2), 197–208. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0969-2>
- [19] Verkerk, J., & van Buuren, A. (2012). Space for the river: A condensed state of the art. In J. Edelenbos, A. van Buuren, & J. F. Warner (Eds.), *Making Space for the River*. IWA Publishing.
- [20] Wiering, M., Kaufmann, M., Mees, H., Schellenberger, T., Ganzevoort, W., Hegger, D. L. T., Larrue, C., & Matczak, P. (2017). Varieties of flood risk governance in Europe: How do countries respond to driving forces and what explains institutional change? *Global Environmental Change*, 44, 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.02.006>

NOTES

1. Professeur (actuariat), Département de mathématiques, Université du Québec à Montréal et Chercheur, Réseau inondations intersectoriel du Québec (RIISQ).
2. Professeur (finance), Département de finance, assurance et immobilier, Université Laval et Chercheur, RIISQ.
3. Voir <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2035>
4. Des pans de territoire ont été exclus de la zone d'intervention spéciale (ZIS) à quatre reprises en 2019 lors de l'entrée en vigueur d'arrêtés ministériels. Au moment d'écrire ces lignes, il n'est pas prévu que la zone d'intervention spéciale soit davantage modifiée dans le futur. Une information à jour sur le sujet est disponible au : <https://www.mamh.gouv.qc.ca/ministere/inondations-printanieres-2019-zone-dintervention-speciale/>
5. Le portail <https://geoinondations.gouv.qc.ca/> offre depuis peu de l'information à ce sujet.
6. Notez que nous analysons brièvement l'effet d'une variation à la hausse dans la fréquence des inondations (pouvant découler de changements dans l'occupation du territoire ou de l'effet des changements climatiques) à la dernière section de cet article.
7. À moins d'avis contraire, nous ne ferons pas la distinction entre bâtiment et propriété car les dommages au terrain sont en général minimes et le Programme d'aide financière ne couvre que les dommages au bâtiment.
8. Voir http://www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/profils/comp_interreg/tableaux/valeur_moyenne.htm (page consultée le 11 décembre 2019).

9. Les dommages indirects incluent divers coûts économiques (surcharge sur le réseau de la santé en raison du stress, anxiété et autres effets délétères des inondations sur la santé, destructions d'infrastructures publiques, pertes de revenus en raison de fermeture d'entreprises et de baisse temporaire de l'activité économique), ainsi que les conséquences des dommages environnementaux résultants de la destruction d'écosystèmes, etc.

10. Il convient de distinguer l'effet d'une localisation dans une zone inondable de l'effet d'un événement extrême. Luechinger and Raschky (2009) rapportent que les propriétés aux États-Unis valent entre 0 % et 12 % moins lorsqu'elles sont situées en zone inondable 100 ans. Au Québec, Bélanger et al. (2018) font état d'une réduction de valeur d'environ 4 %. La littérature scientifique ne manifeste pas de consensus quant à l'effet d'une inondation sur la valeur des propriétés. Les estimés de réduction de valeur varient entre 0 % et 40 %. Toutefois, plusieurs études empiriques internationales démontrent que la perte de valeur est temporaire et qu'elle se résorbe sur un horizon de 3 à 5 ans (Belanger & Bourdeau-Brien, 2018 ; Beltrán et al., 2019 ; Jessica Lamond & David Proverbs, 2006). À l'heure actuelle, il n'existe pas, à notre connaissance, d'études québécoises publiées sur le sujet bien que quelques projets de recherche soient en cours.

11. Dans la suite de cet article, insolvabilité et faillite seront utilisés indistinctement.

12. Fiche synthèse disponible au <https://www.ouranos.ca/publication-scientifique/FicheAvisInondation2018-Fr.pdf>

ANNEXE A : ALGORITHME DE SIMULATION

Dans cette annexe méthodologique, nous décrivons l'algorithme de simulation des inondations et des dommages utilisé dans l'article. L'algorithme se veut une simplification réaliste d'une approche hydrologique et hydraulique conventionnelle. L'approche conventionnelle est généralement calibrée en tenant compte des caractéristiques géographiques et hydrologiques propres à une localisation précise. La résultante est une estimation pragmatique du risque d'inondation pour cette localisation. Or, puisque la modélisation s'appuie grandement sur les caractéristiques locales, l'estimation du risque ne peut pas être directement extrapolée à d'autres environnements physiques. Dans le contexte de notre article, nous modélisons le risque d'inondation pour une propriété québécoise type plutôt que pour une propriété réelle. Pour se faire, nous faisons abstraction des caractéristiques locales particulières, d'où la nécessité d'utiliser un algorithme stylisé permettant d'obtenir des résultats plus généraux. De plus, l'utilisation d'une approche de simulation simplifiée permet de centrer notre analyse sur les conséquences économiques directes des inondations pour les ménages et autres acteurs de la société plutôt que sur la complexité de modélisation de l'aléa naturel.

A.1. Fréquence et intensité

L'approche conventionnelle de modélisation est basée sur une inondation en eau libre provoquée par le débordement d'un cours d'eau. Les concepts de période de récurrence, de fréquence et de sévérité s'appliquent aussi aux inondations par embâcles et aux inondations par submersion.

Tout d'abord, une analyse hydrologique et hydraulique conventionnelle repose sur l'analyse du débit (mesuré en m^3/s) à une station hydrométrique située à proximité d'un territoire étudié. Ce débit détermine à la fois s'il y a inondation et l'étendue spatiale du débordement s'il y a lieu. Toutefois, afin d'utiliser les débits, il est nécessaire de tenir compte des particularités locales en termes de géographie et d'environnement bâti car, par exemple, un débit de $500 \text{ m}^3/\text{s}$ peut avoir des impacts différents d'un tronçon de rivière à l'autre. Plutôt que d'utiliser directement le débit d'eau dans notre algorithme, nous avons utilisé ce qu'on appelle les périodes de récurrence.

Mathématiquement, les périodes de récurrence représentent les quantiles de la distribution des débits. Par exemple, un débit de récurrence 2 ans correspond à la médiane de la distribution des débits (50^e percentile), alors qu'un débit de récurrence 100 ans correspond au 99^e percentile de cette même distribution. Il est habituel de qualifier une inondation comme mineure, moyenne ou majeure en fonction du débit observé à une station : voir par exemple les lieux d'observations qui utilisent le débit comme variable hydrologique sur le site web Vigilance du Ministère de la Sécurité publique.*

Plutôt que de choisir une rivière en particulier et d'analyser son débit à une station donnée, nous avons plutôt opté de tirer de façon aléatoire le niveau de récurrence du débit observé. Dans l'article, nous avons utilisé neuf périodes de récurrence : 2, 5, 10, 20, 50, 100, 250, 500 et 1 000 ans. Par conséquent, nous avons une échelle discrète de 10 intensités différentes d'inondation, données par :

- Intensité 0, i.e. aucune inondation avec probabilité de 50% (récurrence de 0 à 2 ans);
- Intensité 1 avec probabilité de 30% (récurrence de 2 à 5 ans);
- Intensité 2 avec probabilité de 10% (récurrence de 5 à 10 ans);
- Intensité 3 avec probabilité de 5% (récurrence de 10 à 20 ans);
- ...
- Intensité 8 avec probabilité de 0,1% (récurrence de 500 à 1 000 ans);
- Intensité 9 avec probabilité de 0,1% (récurrence au-delà de 1 000 ans);

On peut facilement vérifier qu'une inondation d'occurrence 2 ans survient lorsqu'elle est d'intensité 1 ou plus, avec probabilité de 50% de survenir. On dit qu'une inondation d'occurrence 10 ans survient lorsqu'elle est d'intensité 3 ou plus, avec probabilité de 10% de survenir. Cette échelle approxime (discrétise) donc n'importe quelle distribution (continue) de débit. Plus l'intensité réalisée est élevée, plus on dit que l'inondation observée est sévère (intensité).

* <https://geoegl.msp.gouv.qc.ca/adnv2/>

A.2. Dommages directs

La seconde composante de l'algorithme de simulation est le calcul des dommages qui résultent d'une inondation. Ces dommages sont proportionnels à la profondeur de submersion et augmentent rapidement lorsque l'eau atteint le premier plancher. Toutefois, compte tenu des objectifs de l'article, nous n'avons pas directement modélisé la profondeur de submersion. En effet, la profondeur de submersion dépend de plusieurs variables, tout d'abord le débit observé, puis notamment la localisation du bâtiment choisi, de la topographie du terrain autour de ce bâtiment, de la géomorphologie de la rivière, de la présence de mesures de protection autour du bâtiment ou au niveau de la municipalité, etc. Sans compter que les dommages dépendent également de caractéristiques du bâtiment comme la présence d'un sous-sol fini ou non, des standards de construction, etc.

Plutôt que de choisir quelques bâtiments (réels ou fictifs) pour un tronçon de rivière donné, nous avons plutôt opté pour une approche plus générale. Nous avons donc analysé deux propriétés caractérisées par deux matrices de dommages différentes où les dommages sont exprimés en pourcentage de la valeur de la propriété. Ces deux propriétés résument essentiellement plusieurs des caractéristiques qui peuvent influencer la profondeur de submersion et les dommages. Nous distinguons deux propriétés : une où l'eau entre d'abord par le sous-sol et une autre où l'eau entre d'abord par le premier plancher (absence de sous-sol ou de fenêtres dans le sous-sol). Chacune de ces matrices de dommages associe donc un niveau de risque à une distribution de dommages. Dans tous les cas, à mesure que l'inondation s'intensifie et pour une propriété sélectionnée, nous supposons que les dommages individuels augmentent (ou demeurent à 0).

Le Tableau 2 présente quelques lignes de ces deux matrices alors que les Tableaux A.1 et A.2 présentent ces deux matrices en entier. Nous devons lire ces matrices de la manière suivante. Par exemple, pour une propriété de faible exposition située dans une zone inondable 20 ans (ligne 20 dans le Tableau A.1), si une inondation d'intensité 1, 2 ou 3 est réalisée, les dommages seront nuls. Toutefois, supposons qu'une inondation d'intensité 6 est observée, les dommages seront de 20% de la valeur de la propriété. Les dommages augmentent (ou sont de 0) à mesure que nous nous déplaçons vers la droite dans les tableaux.

■ TABLEAU A.1 *Matrice de dommages associée à une propriété à faible exposition*

		INTENSITÉ DE L'INONDATION								
		Années	2	5	10	20	50	100	250	500
NIVEAU DE RISQUE OU ZONE INONDABLE	2	10%	15%	20%	25%	60%	80%	90%	95%	100%
	5	0%	10%	15%	20%	25%	60%	80%	90%	95%
	10	0%	0%	10%	15%	20%	25%	60%	80%	90%
	20	0%	0%	0%	10%	15%	20%	25%	60%	80%
	50	0%	0%	0%	0%	10%	15%	20%	25%	60%
	100	0%	0%	0%	0%	0%	10%	15%	20%	25%
	250	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	15%	20%
	500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	15%
	1 000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%

■ TABLEAU A.2 *Matrice de dommages associée à une propriété à haute exposition*

		INTENSITÉ DE L'INONDATION								
		Années	2	5	10	20	50	100	250	500
NIVEAU DE RISQUE OU ZONE INONDABLE	2	50%	60%	70%	80%	90%	90%	95%	95%	100%
	5	0%	50%	60%	70%	80%	90%	90%	95%	95%
	10	0%	0%	50%	60%	70%	80%	90%	90%	95%
	20	0%	0%	0%	50%	60%	70%	80%	90%	90%
	50	0%	0%	0%	0%	50%	60%	70%	80%	90%
	100	0%	0%	0%	0%	0%	50%	60%	70%	80%
	250	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	60%	70%
	500	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	60%
	1 000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%

A.3. Algorithme simplifié

En utilisant un pseudo-langage informatique, nous illustrons les étapes de l'algorithme appliqué pour une seule trajectoire de 25 ans. Pour analyser les impacts d'une limite à vie sur les inondations successives, il est important de répéter les étapes décrites ci-dessous au moins 100 000 fois. Il est recommandé d'utiliser un langage vectoriel ou matriciel tel que R ou Matlab.

Entrées :

- Valeur de la propriété (exemple : 250 000 ou 500 000 \$);
- Type d'exposition (exemple : faible ou haute);
- Niveau de risque (exemple : localisation dans une zone inondable 2, 20 ou 100 ans);

Étapes : répéter 25 fois (une fois par an) les 2 étapes suivantes

1. Simuler l'intensité de l'inondation, par exemple un nombre de 0 à 9, ayant la distribution de probabilité mentionnée plus haut.
2. Avec les 3 entrées et l'intensité simulée en 1, choisir la matrice de dommages appropriée, calculer le % et le montant de dommages (% multiplié par la valeur de la propriété);

Sorties :

- Un vecteur de 25 éléments comprenant le montant des dommages observés à chaque année;

Dans un langage comme R ou Matlab, les 100 000 répétitions sont facilement obtenues sans utiliser de boucle, ce qui optimise la vitesse de simulation.

MISE À JOUR – JUILLET 2020

Entre la soumission du manuscrit original et le moment de mettre sous presse, le Ministère de la Sécurité publique du Québec a apporté de nombreuses modifications à son site web. Par conséquent, la refonte du programme est telle que le sinistré peut recevoir une indemnité de reconstruction seulement lorsque la somme des indemnités reçues depuis avril 2019 est inférieure à 100 000 \$ (ou 50% de la valeur à neuf du bâtiment), ce qui est appelé dans l'article, une limite à vie. Dans ce cas, l'indemnité de reconstruction s'élève à 90% des coûts de reconstruction admissibles jusqu'à concurrence du minimum entre 200 000 \$ et 100% de la valeur à neuf de la propriété.

Toutefois, dès que les indemnités reçues depuis avril 2019 pour la reconstruction atteignent plus de 100 000 \$ (ou 50% de la valeur à neuf du bâtiment), le sinistré se voit offrir une panoplie d'options telles que le rachat, la relocalisation ou l'immunisation. La reconstruction est toujours possible, mais le sinistré doit alors renoncer à toute réclamation future. Dans tous les cas, l'aide financière totale est limitée à 200 000 \$ de sorte que l'indemnité pour la reconstruction ou le rachat par exemple est réduite du montant des indemnités reçues depuis avril 2019.