6 DÉCEMBRE 2022

L'assurance inondation



Jean-Mathieu Potvin, M. Sc. Développeur, Consultant @ ununoctium

Université du Québec à Montréal Applications probabilistes des risques actuariels (ACT2060)

potvin.xyz

0000-0002-8237-422X

jm@potvin.xyz

AQIII 25043

jeanmathieupotvin

jeanmathieupotv





cdn.potvin.xyz/uqam-assurance-inondation.pdf

Objectifs

- 1 Présenter une application actuarielle non-traditionnelle: l'assurance inondation.
- 2 Partager mon expérience en tant
 - qu'un ancien étudiant de l'UQAM,
 - qu'un ancien professionnel du domaine de l'assurance et
 - **Q** qu'un actuel travailleur autonome.
- 3 Répondre à vos interrogations.



Avertissement

actuarielle science n'est qu'une petite portion du grand domaine de l'assurance.



Conseil

N'hésitez jamais à explorer une idée, un projet ou une intuition qui vous passionne.

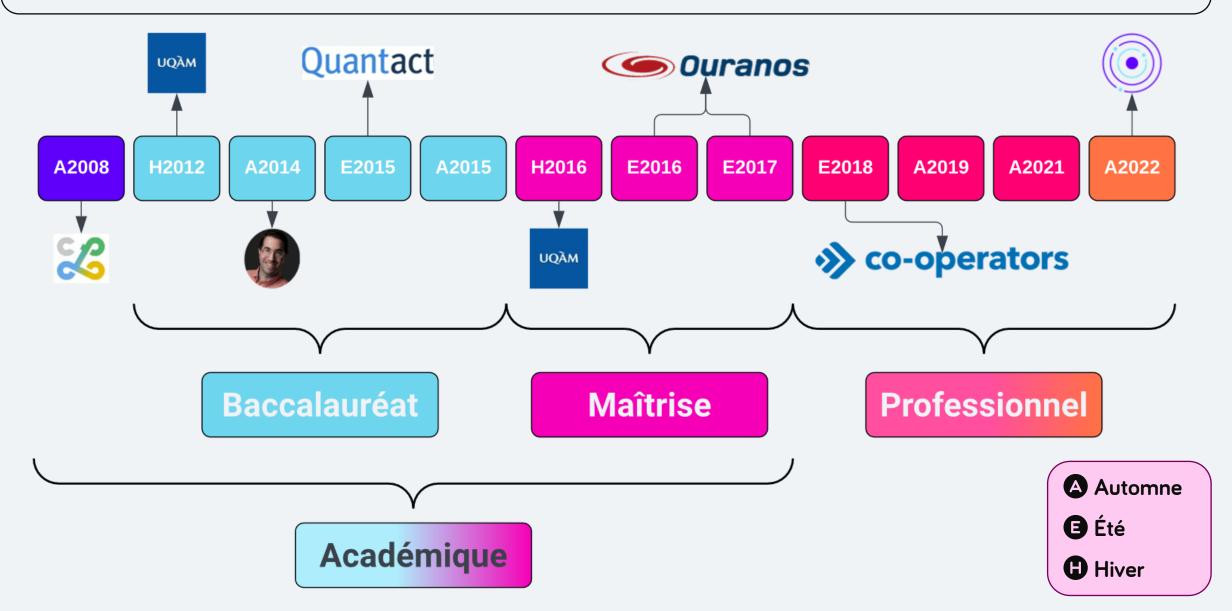


L'assurance inondation est un sous-domaine moderne (et récent) de la science actuarielle.

Introduction

Mon parcours

4



Mon parcours au baccalauréat

- Parcours laborieux car je débute à l'hiver 2012 et à l'aube du *Printemps érable*.
- Développe une méthode d'étude particulière, très détaillée, rigoureuse.
- Progression dichotomique.
 - Intérêt fort pour les cours de mathématiques pures et d'assurance IARD.
 - P Désintérêt total pour tout le reste.
- → La fin de ma deuxième année (2014) marque un tournant majeur.
 - 😕 J'entreprends des démarches pour migrer vers le bac. en mathématiques.
 - Je rencontre par hasard Mathieu Boudreault.
- J'obtiens une bourse d'étude ainsi qu'un stage Quantact à l'été 2015.
- 💆 J'obtiens mon diplôme en 2015.



À long terme, votre attitude et votre motivation sont plus importants que vos résultats scolaires.



Ayez l'esprit ouvert. Saisissez chaque moment qui pourrait propulser votre carrière.

Mon parcours à la maîtrise

6

- Parcours aisé car je suis extrêmement motivé.
- Oriente ma recherche sur la tarification du risque d'inondation, appuyé par mes deux directeurs.
 - Mathieu Boudreault.
 - Mathieu Pigeon.





- Très impliqué, notamment en tant qu'auxiliaire d'enseignement et chargé de cours.
- **★** Stages MITACS en partenariat avec Ouranos et le MELCC en 2016 et 2017.
- Dépôt de mon article scientifique en 2018.
- Dépôt final de mon mémoire de maîtrise en décembre 2019.
- 💆 J'obtiens mon diplôme au début de l'année 2020.



Résistez à la tentation de travailler à temps plein pendant votre période de rédaction de mémoire.

Mon parcours professionnel

- 1 Je débute mon parcours (en excluant les stages) en tant que chargé de cours à l'UQAM (Actuariat et Informatique).
- 2 Je suis engagé en tant qu'Analyste en Recherche et Innovation I chez Co-operators.
 - **→** Je collabore avec plusieurs équipes:
 - Climate Hazards & Advanced Risk Modeling (CHARM),
 - Analytics Task Force (ATF),
 - Risk Assist Solutions, etc.
 - Progression rapide, propulsée par
 - une éthique de travail particulière,
 - une expertise de pointe et
 - une spécialisation officieuse en opérationnalisation des processus analytiques.
- 3 Je quitte mon poste de Consultant en Recherche et Innovation pour officialiser ma transition de carrière à la fin de 2021.

Assurance inondation

Contexte

- Les Canadiens sont sous-préparés pour faire face à une catastrophe majeure.
- Les inondations majeures sont des événements extrêmes.
 - Faible fréquence.
 - Des montants de pertes importants lorsqu'elles surviennent (sévérité importante).
- Les coûts des inondations ont quadruplé depuis les quarante dernières années au Canada (IBC, 2015).
- On prévoit une augmentation de la fréquence et de l'intensité des précipitations au Canada (Jalbert et al., 2015).
- On prévoit, pour la période 2041 2070, au Québec, d'avantage d'eau dans les rivières (Guay et al., 2015).
- Les données historiques de pertes provenant d'inondation sont rares, censurées et/ou désuètes.
 - Elles ne reflètent pas les variations géographiques locales du risque (Michel-Kerjan et al., 2015).
 - Elles ne reflètent pas leur potentiel catastrophique réel (Michel-Kerjan et al., 2015).

Contexte

- En 2015, le Canada était l'unique pays du G7 + 1 à ne pas offrir de contrat d'assurance inondation (IBC, 2015).
- En 2022, la plupart des assureurs canadiens offrent un produit d'assurance inondation (plus ou moins complet).



Protection étendue des dommages causés par l'eau



Avenant Eau multirisque



Protections d'assurance contre les dégâts d'eau



intact Protections supplémentaires contre les dégâts d'eau



Deneva Protections contre les dégâts d'eau

1 AQUARISC

En 2018, la base de données AQUARISC d'Ouranos recensait environ 2000 inondations sur l'ensemble du territoire québécois depuis 1642 (Mayer-Jouanjean et Bleau, 2018).

Introduction

? Qu'est-ce que l'assurance inondation?

Un produit spécifique d'assurance couvrant les pertes découlant de dommages directs et indirects induits par une inondation.

- Dommages directs: bâtiments, dépendances et leur contenu, automobiles, terrains, nettoyage, reconstruction, etc.
- Dommages indirects: relocalisation temporaire, remplacement de salaire, sinistres transitifs, etc.

La souscription peut être obligatoire (incluse dans le contrat de base), optionnelle (avenant supplémentaire), ou hybride.

? Qu'est-ce qu'une inondation?

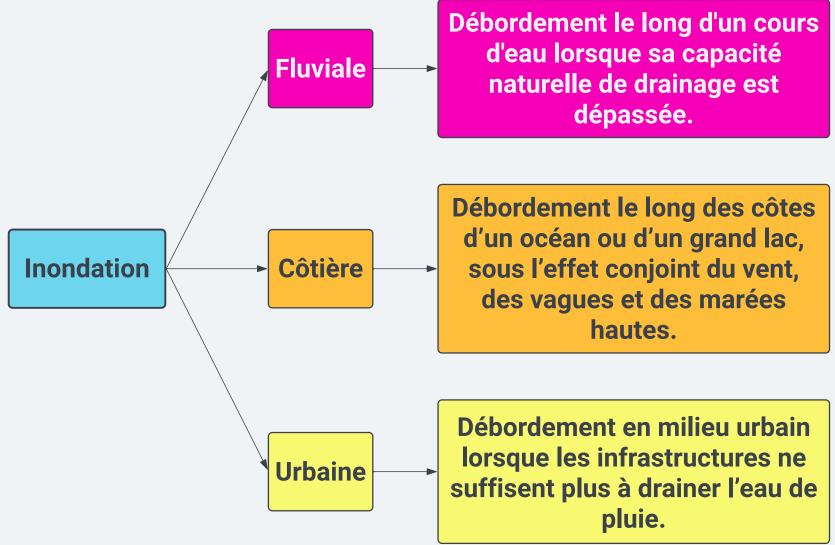
Au Canada, il n'existe pas de définition (légale) précise du terme inondation (IBC, 2015). On les caractérise généralement par

- leur emplacement géographique et
- leur cause sous-jacente.

1 Processus physiques

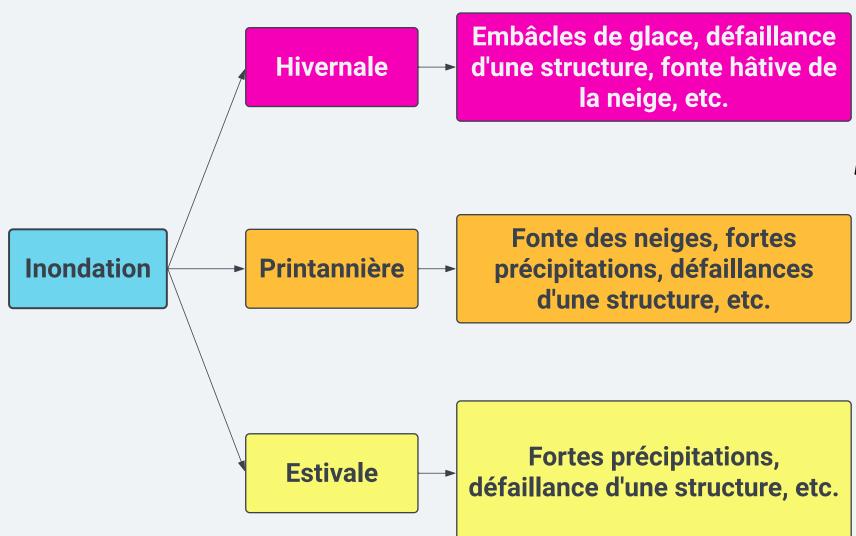
Chaque type d'inondation est gouverné par un processus physique distinct. Pour cette raison, nous nous concentrons sur les inondations fluviales.

Catégorisation selon l'emplacement





Catégorisation selon la cause





Inondations fluviales

Cette présentation se concentre sur les inondations fluviales typiquement causées par une hausse non-turbulente du niveau des eaux d'une rivière.

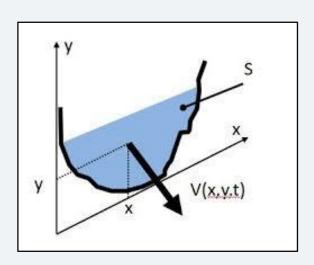
On parle d'écoulement laminaire.

Généralités

Débit

Volume d'eau traversant une section transversale d'un cours d'eau par unité de temps (Bennis, 2014).

- \bigcirc Habituellement exprimé en m^3/s (volume d'eau qui circule par seconde).
- → Variable hydrologique primordiale pour l'étude des inondations fluviales.
- Ontient implicitement l'information de tous les autres facteurs physiques:
 - **\$** température,
 - pression,
 - nrécipitations actuelles et passées,
 - **t**opographie locale (ruissellement, frottement, etc.),
 - mécanique des fluides, etc.
- Observé ponctuellement dans l'espace et dans le temps.
 - Grâce à un réseau de stations hydrométriques.



Les limites de l'intuition

Il est faux de croire qu'une série de fortes précipitations induit nécessairement une inondation. Il est également faux d'associer une inondation au changement climatique.

Station hydrométrique





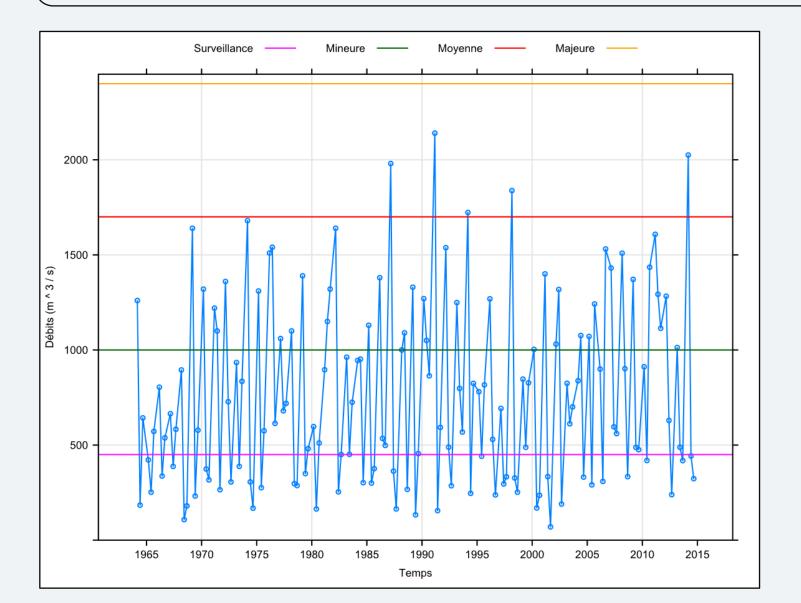
Un modèle est une représentation simplifié d'un phénomène.

Concevoir un modèle, c'est associer une représentation mathématique à un phénomène.

Un bon modèle est caractérisé par un équilibre entre sa simplicité et sa vraisemblance.

Un modèle n'est vraisemblable que si nous disposons d'excellentes données empiriques pour valider ses prévisions.

Données empiriques de débits



Que voyez-vous?

Pics saisonniers (sauf ceux de l'hiver) de débits observés à la station québécoise 023402 (rivière Chaudière) de 1964 à 2015 inclusivement.



Position géographique de la station

Seuils gouvernementaux	Débit (m^3/s)
Surveillance	450
Mineure	1000
Moyenne	1700
Majeure	2400

19

Inondation fluviale

Stochasticité des débits

Un débit est naturellement stochastique. Il fluctue aléatoirement, au gré des jours et des saisons en fonction d'un (très) grand ensemble de facteurs externes. Soit Q_p , le débit observé à une position géographique bidimensionnelle p quelconque:

$$Q_p: \omega \mapsto Q_p(\omega) \in \mathbb{R}_+.$$

i Définition actuarielle d'une inondation riveraine

Soit $q_p^* \in \mathbb{R}_+$ le débit maximal qu'une rivière peut normalement supporter à la position p. Une inondation est l'événement hydrologique

$$\{Q_p > q_p^*\}.$$

Cette définition s'harmonise avec

Le risque hydrologique, soit une augmentation significative du débit (Bennis, 2014), et

le risque actuariel, soit une capacité de drainage insuffisante susceptible d'engendrer des sinistres (IBC, 2015).

Inondation fluviale

20

i Probabilité d'un événement

Puisque Q_p est une variable aléatoire, l'événement $\{\,Q_p>q_p^*\,\}$ est intrinsèquement probabiliste:

$$\mathbb{P}\{Q_p > q_p^*\} \equiv S_{Q_p}(q_p^*) \equiv 1 - F_{Q_p}(q_p^*).$$

Dès lors, nous pouvons caractériser la fréquence ainsi que l'intensité d'un événement (à une position géographique bidimensionnelle p quelconque) en modélisant la fonction de répartition F_{Q_n} des débits (Potvin, 2019).

 $\begin{tabular}{ll} \underline{\begin{tabular}{ll} \underline{\begin{tabular}{l} \underline{\begin{tabular}{ll} \underline{\begin{tabular} \underline{\begin{tabular}{ll} \underline{\begin{tabular}{ll} \underline{\begin{tabular} \underline{\begi$

La sévérité d'une perte dépend de l'intensité d'un événement et donc de q_p .

Avec ce cadre théorique minimal, nous pouvons modéliser les pertes provenant d'inondation riveraine.

Modélisation

Défis



Attribuer un prix juste aux pertes monétaires probables induites par une (ou plusieurs) inondations riveraines.

Défis généraux

Bien qu'elles soient intimement liées aux débits, les inondations sont difficiles à modéliser.

- E'aléa est influencé par la dynamique de propagation de l'eau (entre autres).
- Les risques ne sont pas I.I.D. Ils varient selon leurs positions géographiques (Potvin, 2019).
 - Les risques sont spatialement dépendants: ils surviennent généralement par agrégats.
 - Des risques ne sont pas homogènes (identiquement distribués) dans l'espace.
- Un modèle erroné ou incomplet de l'aléa peut mettre en péril la solvabilité de l'assureur (Michel-Kerjan et al., 2015).
- ∐ Il faut se doter d'une méthodologie pour transformer un débit en un montant de perte.

Modélisation hiérarchique

O Étape préliminaire

Il faut découper la zone géographique assurée en zones hydrologiques locales traversées par un seul tronçon de rivière. Il doit être aussi petit que possible.

- igoplus Ces zones sont parfois surnommées régions ou voisinages (de stations hydrométriques). On les note $\mathcal V$.
 - 1 Un voisinage est un ensemble continu et borné de positions géographiques bidimensionnelles quelconques.
- On suppose que le débit des tronçons est stationnaire et mesurable par au moins une station hydrométrique.
 - On dispose de données empiriques de débits.
 - igcup Le débit est identiquement distribué en tout point p_i du tronçon:

$$Q_{p_1} = Q_{p_2} \, \forall p_1, p_2 \in \mathcal{V}$$
 (en loi).

Pour les prochaines étapes, nous nous concentrerons sur une seule station.



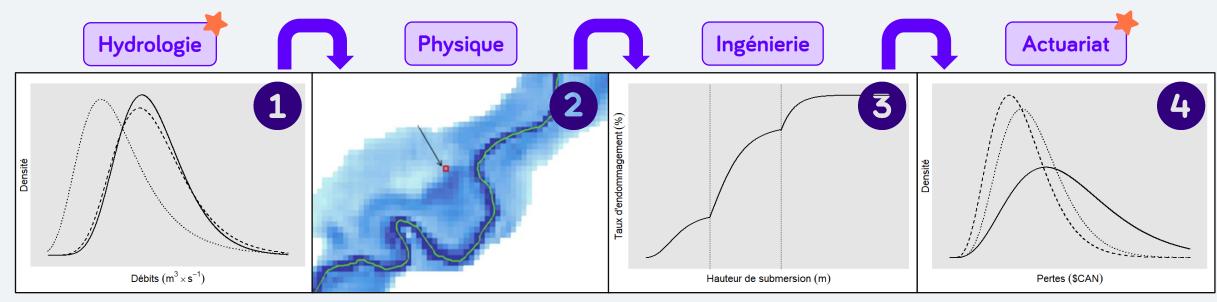
Cette hypothèse n'est valide que si la distance séparant p_1 et p_2 est négligeable.

24

Modélisation hiérarchique



Un méta-modèle est un ensemble ordonné de modèle. En d'autres mots, c'est une chaîne de plusieurs (plus) petits modèles.



≅ Modèle hydrologique

Modélisation statistique univarié ou multivarié des débits.

Modèle hydraulique

Modélisation physique de la dynamique de propagation d'un débit dans l'espace.

Modèle de dommages

Modélisation de la relation entre taux d'endommagement et hauteur de submersion.



Modèle statistique de pertes actuarielles.

Reconnaissez vos limites

Soyez conscients des limites de votre expertise et de votre domaine. Résistez à la tentation d'appliquer une approche purement statistique à tout problème.

Résistez à la tentation de sursimplifier un problème complexe à des fins mercantiles et/ou arbitraires.







Objectif

Modéliser la variabilité des débits (la distribution inconnue F_Q) par une distribution de probabilités \hat{F}_Q .

- Les données empiriques peuvent être des données historiques ou synthétiques.
- Le modèle (la distribution) peut être univarié, multivarié ou conditionnel à d'autres facteurs.
- Il est très difficile de modéliser statistiquement un ensemble de débits (Gumbel, 1941; Katz et al., 2002).
- 19 Historiquement, on a souvent cherché à modéliser les extrêmes (les débits pouvant générer une inondation).
- Pon peut invoquer le Théorème de Fisher-Tippett-Gnedenko (la distribution généralisée des valeurs extrêmes).
 - Il existe une panoplie d'autres méthodes possibles.

Paris de Fisher-Tippett-Gnedenko

Soit un ensemble de débits $Q_{p,1}, Q_{p,2}, ..., Q_{p,n}$ indépendants et observés à une position p quelconque à des moments distincts $1, 2, ..., n \in \mathbb{Z}$. Soit M_p le maximum de cet ensemble. Alors, $M_p \sim G(\mu, \sigma, \xi)$, où G est nécessairement la distribution généralisée des valeurs extrêmes (Coles, 2001):

$$G(m; \mu, \sigma, \xi) \equiv \exp\left\{-\left[1 + \xi\left(\frac{m - \mu}{\sigma}\right)\right]_{+}^{-\frac{1}{\xi}}\right\}.$$

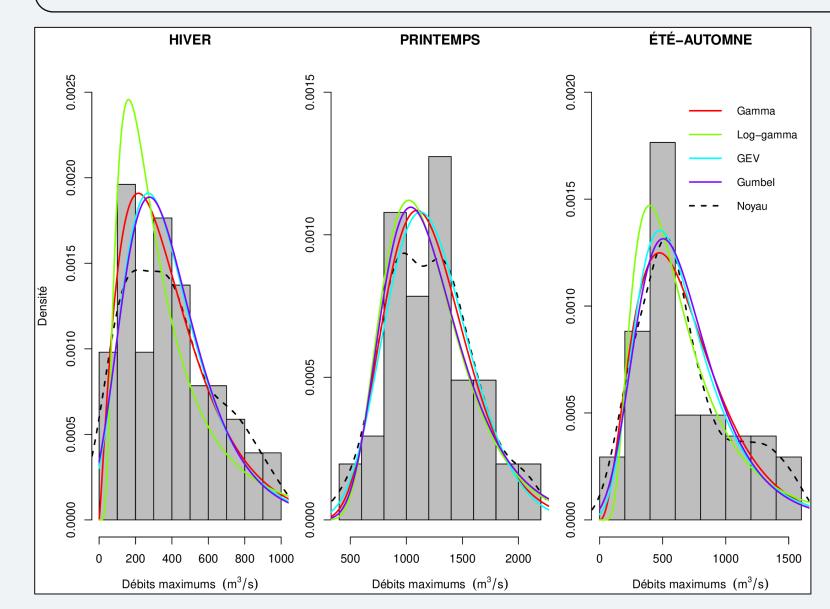
À l'intérieur de certaines périodes, on peut supposer qu'un ensemble de débits est stationnaire dans le temps (Katz et al., 2002). C'est ce qui nous permet d'invoquer le théorème ci-haut.

Valeurs extrêmes

La théorie des valeurs extrêmes et ses premiers résultats sont nées de la nécessité de modéliser des maximums de débits (Gumbel, 1941).

1 Modèle hydrologique





i Que voyez-vous?

Modélisation statistique des pics saisonniers de débits observés à la station québécoise 023402 (rivière Chaudière) de 1964 à 2015 inclusivement. Plusieurs distributions ont été testées.

Objectif

Modéliser la dynamique de propagation d'un volume d'eau (un débit) dans l'espace. On cherche une représentation spatiale de la propagation de l'eau dans un voisinage quelconque.

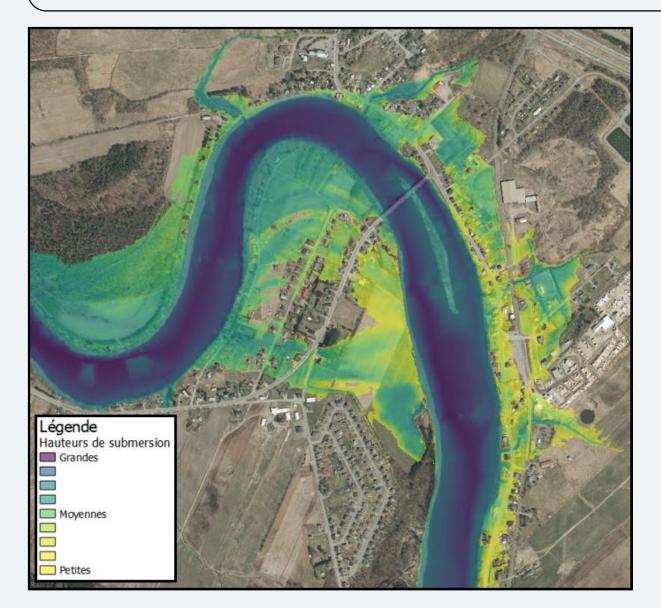
- 🔯 On utilise les équations de la physique pour faire évoluer un débit et déduire son comportement *en aval*.
- Les données empiriques de débits peuvent être des données historiques ou synthétiques.
- On a besoin d'un énorme volume de données physiques: topographie, bathymétrie, types de sol, etc.

Soit l'événement $\{Q_{p_S}=q_{p_S}\}$, l'observation d'un débit $q_{p_S}>0$ à la position p_S . Soit \mathcal{V} , le voisinage de p_S . Le modèle hydraulique nous renseigne sur la hauteur de submersion $p_S>0$ en tout point $p\in\mathcal{V}$ pour cet événement:

$$\boldsymbol{h}_{\mathcal{V}} \equiv \boldsymbol{\Lambda}(q_{p_{\mathcal{S}}}; \boldsymbol{I}_{\mathcal{V}}),$$

où $h_{\mathcal{V}}$ est l'ensemble des hauteurs d'eau de \mathcal{V} , $I_{\mathcal{V}}$ est un ensemble conceptuel contenant toute l'information sur \mathcal{V} et Λ une fonction représentant l'effet conjoint des équations de la physique.

2 Modèle hydraulique



i Que voyez-vous?

Scénario d'inondation (Dubé et al., 2005) pour un tronçon de la rivière Chaudière traversant la municipalité de Scott (Québec). La valeur de débit correspondante observée à la station 023402 est égale à 2200 m^3/s .

- Position géographique de la station
- Municipalité de Scott (Québec)

Cartes d'inondation

Un modèle hydraulique produit habituellement des cartes d'inondation: des ensembles cartographié d'hauteurs de submersion. Hauteurs d'eau I→ Taux d'endommagement

3 Modèle de dommages

Objectif

Associer un taux d'endommagement (d'un item assuré) à une hauteur de submersion.

- Un taux d'endommagement est le rapport entre un montant de perte total et une valeur de référence.
 - \bigcirc Quantité adimensionnelle (sans unité) $d \in [0, 1]$.
 - O Valeur de référence flexible: valeur marchande, valeur de remplacement, valeur de reconstruction, etc.
- ∷ On cherche à établir une relation univariée conditionnelle à d'autres facteurs (Smith, 1994; Bonnifait, 2005):
 - présence et finition du sous-sol,
 - nombre d'étages,
 - type de bâtiment, etc.
- Les données peuvent être des données historiques ou synthétiques (dérivées d'avis d'experts).

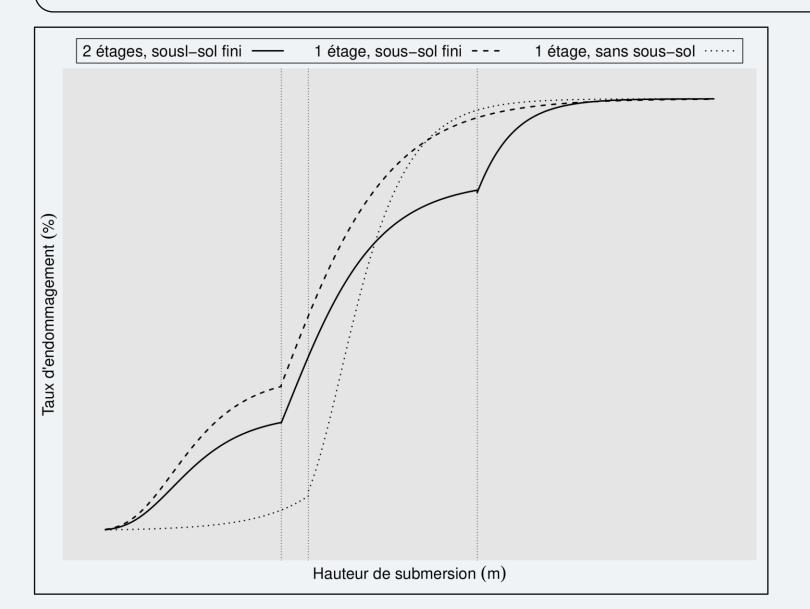
Soit un item assurable $i \in \mathbb{N}$ ayant pour position $p_i \in \mathcal{V}$. On assume que cet item est caractérisée par un ensemble \mathcal{C}_i de facteurs quelconques. Soit $d_i \in [0,1]$, le taux d'endommagement correspondant à h_{p_i} , la hauteur de submersion observée à la position p_i .

Le modèle de dommages nous permet de calculer d_i à partir de h_{p_i} et \mathcal{C}_i :

$$d_i \equiv \mathcal{D}(h_{p_i}; \boldsymbol{\mathcal{C}}_i),$$

où \mathcal{D} est une fonction univariée $\mathbb{R}_+ \mapsto [0, 1]$.

3 Modèle de dommages



i Que voyez-vous?

Plusieurs relations univariées pour des bâtiments québécois typiques. Elles sont conditionnelles au (1) nombre d'étages, (2) à la présence d'un sous-sol et (3) à sa finition (Bonnifait, 2005).

i Courbe de dommages

Une relation entre l'endommagement et la hauteur de submersion est typiquement surnommée courbe de dommages. Taux d'endommagement I→ Perte

4 Modèle de sinistralité

Objectif

Construire une distribution statistique de montants de pertes actuarielles (sinistralité).

" Chaque item assurable $i\in\mathbb{N}$ a une position $p_i\in\mathcal{V}$ unique associée à un sous-ensemble de caractéristiques physiques $I_{p_i}\subset I_{\mathcal{V}}$.

igapha Chaque item assurable i a une valeur assurable $\theta_i>0$ et un ensemble de caractéristiques observées \mathcal{C}_i .

Sinistralité

Soit Y_i , la perte actuarielle provenant d'une inondation pour l'item assurable i ayant une position $p_i \in \mathcal{V}$.

$$Y_i: \omega \mapsto Y_i(\omega) \in \mathbb{R}_+$$

Puisque qu'on cherche à construire un modèle de sinistralité, $\mathbb{P}\{Y_i=0\}>0$ (cette valeur est définie).

4 Modèle de sinistralité

Algorithme. Générer une distribution statistique pour Y_i (Potvin, 2019).

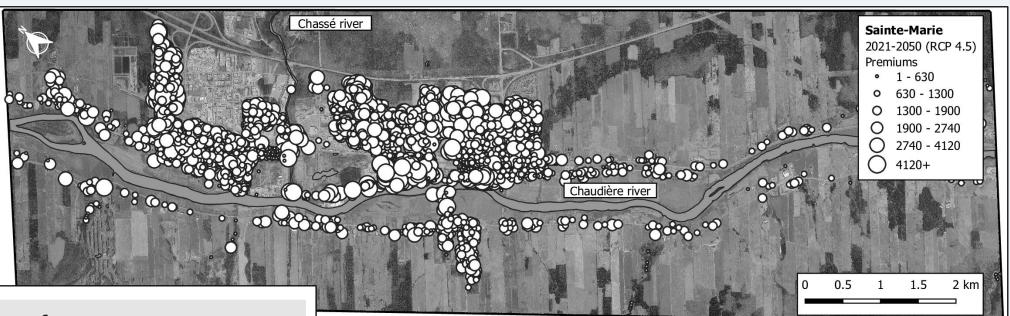
- O Posons k=1.
- f 1 En utilisant le modèle hydrologique, on tire aléatoirement une valeur de débit $q^{(k)}$ de la distribution de probabilité $\hat{F}_{Q_{\mathcal{V}}}$.
- **2** En utilisant le modèle hydraulique, on repère la hauteur de submersion $h_{p_i}^{(k)}$ correspondant au couple $(q^{(k)},\ p_i)$.
- f 3 En utilisant le modèle de dommages, on calcule le taux d'endommagement $d_i^{(k)}$ associé à $h_{p_i}^{(k)}$.
- 4 On calcule la perte $y_i^{(k)}$ correspondant à $d_i^{(k)}$:

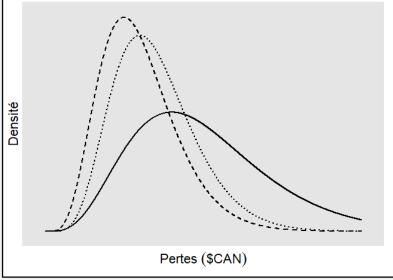
$$y_i^{(k)} \equiv \theta_i \times d_i^{(k)}.$$

5 On répète les étapes **1**, **2**, **3** et **4** un grand nombre de fois pour $k=2,...,K\in\mathbb{N}$.

4 Modèle de sinistralité

Taux d'endommagement I→ Perte





1 Que voyez-vous?

Distributions individuelles de pertes pour des bâtiments assurés quelconques (Potvin, 2019).

i Que voyez-vous?

Tarification des bâtiments de la municipalité de Sainte-Marie (Potvin, 2019; Boudreault, 2020). Les primes correspondent à l'espérance des distributions individuelles.

Conclusion

Ouverture

L'assurance inondation n'en est qu'à ses débuts. Elle est limitée par plusieurs contraintes théoriques, empiriques et computationnelles. Les possibilités sont nombreuses! Voici quelques pistes.

- Ele modèle hydrologique peut être construit à partir de conditions météorologiques et climatiques (Potvin, 2019).
- E Le modèle hydrologique peut être généralisé avec une approche multivariée.
 - Modèle multivarié modélisant la dépendance (spatiale) entre plusieurs distributions de débits.
 - **Q** C'est l'approche actuelle du groupe The Co-operators (*Boudreault J., Perreault S., Potvin J.-M., 2020*)!
- Est-il possible de remplacer le modèle hydraulique par un réseau de neurones reproduisant la dynamique de l'eau?
- Est-il possible de remplacer le modèle de dommages classique par un modèle purement statistique?
- Existe-il une façon de grouper des items assurables (homogènes) et obtenir des distributions de pertes communes?

Références

- 99 Gumbel, E. J. (1941). The Return Period of Flood Flows. Ann. Math. Stat., 12(2), 163–190.
- 99 Smith, D. (1994). Flood damage estimation a review of urban stage-damage curves and loss functions. Water SA, 20(3), 232–238.
- 99 Coles, S. (2001). An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. Springer Verlag.
- 99 Katz, R. W., Parlange, M. B. et Naveau, P. (2002). Statistics of extremes in hydrology. Adv. Water Resour., 25, 1287–1304.
- 99 Dubé, S., Tremblay, K., Audet, G., Francoeur, J., Caron, D. et Morel, I. (2005). Révision des cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans, Rivière Chaudière, Municipalités de Saint-Lambert-de-Lauzon, Saint-Isidore, Saint-Bernard, Scott, Sainte-Marie, Vallée-Jonction, Saint-Joseph-de-Beauce, Saint-Joseph-des-Érables, Beauceville, Notre-Dame-des-Pins et Saint-Georges, CEHQ 12-001. Centre d'Expertise Hydrique du Québec.
- 99 Bonnifait, L. (2005). Développement de courbes submersion-dommages pour l'habitat résidentiel québécois. (Thèse de doctorat). Institut national de la recherche scientifique.
- 99 Bennis, S. (2014). Hydraulique et hydrologie 3e édition. Presses de l'Université du Québec.
- 99 IBC (2015). The financial management of flood risk. Insurance Bureau of Canada.

Références

- 99 Jalbert, J., Favre, A.-C., Bélisle, C., Angers, J. F. et Paquin, D. (2015). Canadian RCM projected transient changes to precipitation occurrence, intensity, and return level over North America. J. Clim., 28(17), 6920–6937.
- 99 Guay, C., Minville, M. et Braun, M. (2015). A global portrait of hydrological changes at the 2050 horizon for the province of Québec. Can. Water Resour. J. / Rev. Can. des ressources hydriques, 40(3), 285–302.
- 99 Michel-Kerjan, E., Czajkowski, J. et Kunreuther, H. (2015). Could flood insurance be privatized in the United States? A primer. Geneva Pap. Risk Insur. Issues Pract., 40(2), 179–208.
- 99 Mayer-Jouanjean, I. et Bleau, N. (2018). Projet 551013 : Historique des sinistres d'inondations et d'étiages et des conditions météorologiques associées. Rapport présenté à Environnement et Changement Climatique Canada, Gouvernement du Québec et à Ouranos. Rapport technique.
- 99 Potvin, J.-M. (2019). Tarification du risque d'inondation selon une approche hiérarchique basée sur la physique. (Mémoire de maîtrise). Université du Québec à Montréal.
- 99 Boudreault M., Grenier P., Pigeon M., Potvin J.-M. & Turcotte R. (2020). Pricing Flood Insurance with a Hierarchical Physics-Based Model, North American Actuarial Journal, 24:2, 251-274.

Compilé avec par ununoctium coding simplified