

Intégration des résultats du modèle relatif aux inondations et aux autres catastrophes dans la tarification et la souscription

Intégration des résultats du modèle relatif aux inondations et aux autres catastrophes dans la tarification et la souscription

COMMANDITAIRES Institut canadien des actuaires (ICA)
Casualty Actuarial Society (CAS)
Society of Actuaries (SOA)

AUTEURS George Davis, FCAS, MAAA – AIR Worldwide
Stacey Gotham, FCAS, MAAA – AIR Worldwide
Alan Frith, CPCU, ARe, CEEM – AIR Worldwide
Jim Christie, FICA, FCAS – RSM Canada
Stanley Caravaggio, FICA, FSA – RSM Canada



Mise en garde et avis de non-responsabilité

Les opinions et conclusions exprimées dans les présentes sont celles des auteurs et ne représentent pas la position officielle ni l'opinion des organismes commanditaires ou de leurs membres. Ces organismes ne font aucune déclaration et n'offrent aucune garantie quant à l'exactitude de l'information

©2018 Tous droits réservés par l'Institut canadien des actuaires, la Casualty Actuarial Society et la Society of Actuaries.

TABLE DES MATIÈRES

Section 1 Introduction.....	5
1.1 Vue d'ensemble de la question	5
1.2 Résumé.....	5
Section 2 Historique de la modélisation des catastrophes	6
2.1 Évolution des modèles	6
2.2 Avantages de l'utilisation des modèles de catastrophe.....	6
2.3 Données de sortie habituelles des modèles de catastrophe	7
2.3.1 Sinistres liés aux événements	7
2.3.2 Sinistre annuel moyen	7
2.3.3 Coûts des sinistres	8
2.3.4 Courbes de probabilité de dépassement	8
2.3.5 Écart-type.....	8
2.3.6 Valeur à risque conditionnelle	8
2.3.7 Intensité.....	9
2.4 Types de modèles de catastrophe liés aux inondations.....	9
2.5 Validation des modèles	9
Section 3 Utilisation courante des modèles de catastrophe dans la tarification au Canada.....	11
3.1 Pratiques courantes de tarification des catastrophes au Canada	11
3.2 Comparaison des pratiques d'assurance inondation au Canada et aux États-Unis.....	12
3.3 Problèmes avec les pratiques actuelles	12
Section 4 État actuel de l'assurance contre les inondations au Canada	14
4.1 Offre standard de polices.....	14
4.2 Méthodes actuelles de tarification.....	15
Section 5 Méthode de tarification proposée	17
5.1 Notions générales de tarification	17
5.1.1 Méthode de la prime pure	17
5.1.2 Charge de risque.....	18
5.1.3 Autres composantes des taux.....	19
5.1.4 Coût net de réassurance	19
5.1.5 Facteurs de relativité.....	20
5.1.6 Rebalancement du taux moyen du portefeuille	20
5.2 Utilisation de données d'exposition théoriques.....	21
5.2.1 Analyse par territoires	21
5.2.2 Analyse des relativités	22
5.3 Considérations spécifiques au risque d'inondation.....	24
5.3.1 Lignes directrices sur la souscription.....	24
5.3.2 Définitions des territoires.....	24
5.3.3 Variables de tarification.....	25
Section 6 Démonstration de faisabilité.....	25
6.1 Vue d'ensemble de la société d'assurance examinée à titre d'exemple	25
6.1.1 Exemple de portefeuille de la société	25
6.1.2 Estimations des sinistres de la société.....	27
6.2 Mise en application du cadre de tarification proposé.....	28
6.2.1 Taux moyen de l'assurance directe	28
6.2.2 Taux moyen avec réassurance	30
6.2.3 Relativités de territoire (méthode traditionnelle)	32
6.2.4 Relativités de taux.....	35

6.2.5	Rebalancement	36
6.2.6	Pages de tarifs finaux.....	37
6.3	Comparaison des taux fondés sur l'expérience avec ceux que produirait le cadre proposé.....	38
Section 7 Autres champs à explorer		41
7.1	Décisions en matière de souscription	41
7.2	Gestion du portefeuille	41
7.3	Variantes de la méthode proposée pour prendre en compte différentes situations de tarification.....	42
7.3.1	Tarification d'une police autonome.....	42
7.3.2	Tarification d'un programme entièrement nouveau.....	42
7.4	Variantes de la méthode proposée pour prendre en compte différents risques.....	42
7.4.1	Orages violents.....	42
7.4.2	Tempêtes hivernales.....	42
7.4.3	Ouragans	42
7.4.4	Tremblements de terre	43
7.4.5	Incendies de forêt	43
7.5	Améliorations possibles à la méthode proposée.....	43
7.5.1	Relativités de territoire sans contiguïté.....	43
7.5.2	Utilisation de données entièrement théoriques.....	45
7.5.3	Évaluation de toutes les combinaisons de variables de tarification possibles	45
7.5.4	Établissement des taux et du coût de réassurance dans le cas de biens à risque élevé	45
7.5.5	Encouragement de l'atténuation des risques	46
7.5.6	Affectation de la charge de risque et du coût de la réassurance.....	46
7.6	Variantes dans la tarification des charges de risque	46
Section 8 Conclusion		50
Bibliographie		51
Annexe A — Questions du sondage auprès des assureurs canadiens.....		52
Annexe B — Sommaire des ouvrages consultés.....		53
Annexe C — Facteurs de relativité de territoire de la société fictive (méthode traditionnelle)		56

Intégration des résultats du modèle relatif aux inondations et aux autres catastrophes dans la tarification et la souscription

Section 1 Introduction

Les auteurs ont préparé le présent rapport à l'intention de l'Institut canadien des actuaires (ICA), de la Society of Actuaries et de la Casualty Actuarial Society.

1.1 Vue d'ensemble de la question

De l'avis de l'ICA, les actuaires canadiens qui œuvrent dans le secteur des assurances IARD souffrent d'importantes lacunes en termes de connaissances lorsqu'il s'agit d'intégrer les résultats des modèles de catastrophe dans leurs stratégies de tarification et de souscription. Le présent rapport a pour but d'aider la Commission exécutive de recherche de l'ICA à formuler des recommandations sur les méthodes de tarification et de souscription qui intègrent l'utilisation des résultats des modèles de catastrophe.

Cette étude s'inscrit dans la foulée de l'émergence récente des réclamations pour dégâts d'eau et des risques climatiques, qui représentent aujourd'hui la part la plus importante des indemnités versées par les assureurs IARD au Canada. Compte tenu de la tendance à la hausse du nombre de réclamations pour dégâts d'eau, les sociétés d'assurance canadiennes ont réagi en élaborant et en introduisant sur le marché un avenant à une police de protection contre les inondations.

Les modèles de catastrophe s'adaptent à plusieurs types de risque, qu'il s'agisse de tremblements de terre, du vent, de la grêle, d'inondations ou d'incendies de forêt. Bien que le présent rapport traite et présente des méthodes générales de tarification et de souscription sans égard au type de risque, il comporte aussi des exemples particuliers et des informations portant spécifiquement sur l'application de ces méthodes au risque d'inondation.

Dès le départ, nous nous sommes proposé de répondre à l'objectif du projet de recherche de l'ICA par une évaluation complète des différentes méthodes d'intégration des résultats des modèles de catastrophe dans la tarification et la souscription. Nous avons aussi cherché à illustrer et à proposer une solution qui soit robuste, prédictive et pratique pour l'industrie.

1.2 Résumé

Les résultats de nos recherches et de nos analyses sont présentés dans les sections qui suivent.

La section 2 donne un bref historique du développement des modèles de catastrophe et explique l'architecture générale et les usages actuels de ces modèles.

La section 3 donne des informations détaillées sur les méthodes actuelles de tarification des catastrophes au Canada, puis dresse une comparaison avec celles en usage aux États-Unis. L'un des points importants de notre analyse est de faire une démonstration de faisabilité de la méthode que nous proposons pour la tarification des garanties contre les inondations. La section 4 résume les offres actuelles d'assurance inondation au Canada. Une grande partie du contenu de ces sections s'inspire des résultats du sondage auprès des assureurs au Canada. Les questions du sondage figurent à l'Annexe A – Questions du sondage auprès des assureurs canadiens.

La section 5 et la section 6 renferment les principales composantes de notre étude et de notre analyse. Elles donnent une description détaillée de la méthode de tarification que nous proposons et conduisent le lecteur à travers chacune des composantes du processus. Nous illustrons ensuite cette méthode dans la section 6 au moyen d'un exemple fondé sur une

société d'assurance fictive. Les relativités de territoire calculées durant ce processus figurent à l'Annexe C — Facteurs de relativité de territoire de la société fictive.

La section 7 se veut une première exploration des domaines connexes à prendre en considération et des variations possibles de la méthode de tarification proposée, sujets qui n'entraient pas dans le champ de notre étude. Enfin, à la section 8, nous faisons une synthèse de nos recherches et relatons nos dernières observations sur la valeur de la méthode de tarification que nous proposons.

Pour préparer le présent document, l'équipe a recensé et consulté une panoplie d'ouvrages traitant de la tarification des catastrophes, dont la liste se trouve à l'Annexe B – Sommaire des ouvrages consultés.

Section 2 Historique de la modélisation des catastrophes

2.1 Évolution des modèles

L'ère moderne de l'évaluation des risques de catastrophe à l'aide de modèles probabilistes (modèles de catastrophe) a pris naissance dans les années 1980. Cependant, les assureurs ont commencé à s'intéresser sérieusement aux modèles de catastrophe dans les années 1990 à la suite des gros ouragans qui ont causé des dommages et qui n'avaient pas été bien prévus, surtout au lendemain de l'ouragan Andrew, qui a frappé la Floride très durement, en 1992.

Michael Walters et François Morin ont traité de l'utilisation de modèles de catastrophe pour estimer le coût des sinistres en 1996¹. Cette même année, Burger, Fitzgerald, White et Woods ont également évoqué la possibilité d'intégrer la modélisation des ouragans à la tarification des assurances IARD².

L'ouragan Andrew a été un choc tel pour l'industrie de l'assurance que les entreprises ont commencé à s'intéresser au point de vue plus complet des risques que donnent les modèles de catastrophe bien construits. Si la modélisation des catastrophes a tout d'abord servi à l'étude des ouragans, elle a ensuite été appliquée à l'analyse d'un nombre important et toujours croissant de risques. La modélisation des catastrophes s'adapte particulièrement bien aux événements peu fréquents et pour lesquels les demandes d'indemnités sont corrélées. Cette caractérisation est exprimée dans « Catastrophe Exposures and Insurance Industry Catastrophe Management Practices », publié par l'American Academy of Actuaries (référence n° 17 à l'annexe B). Aujourd'hui, la modélisation des catastrophes s'applique à de nombreux risques naturels qui possèdent ces caractères distinctifs, notamment les inondations à l'intérieur des terres, qui sont un phénomène assez récent. Ces modèles s'appliquent même à certains risques non naturels tels que le terrorisme et, plus récemment, le risque informatique.

L'utilisation croissante de la modélisation des catastrophes s'explique en grande partie par la capacité grandissante des ordinateurs à traiter de grandes quantités de données. Alors que les premiers modèles permettaient d'effectuer un nombre relativement faible de simulations, ceux d'aujourd'hui peuvent souvent réaliser des dizaines, voire des centaines de milliers de simulations. Cela permet d'avoir une vue plus complète des scénarios anticipés et de procéder à une analyse des risques des plus détaillées selon les régions géographiques ou les types d'expositions.

Tandis que les modèles évoluaient de concert avec les connaissances scientifiques sur lesquelles ces modèles reposaient, l'acceptation des modèles s'est accrue et leur utilisation dans la tarification est devenue aujourd'hui une procédure bien établie dans de nombreux domaines.

2.2 Avantages de l'utilisation des modèles de catastrophe

En raison de leur nature, les modèles de catastrophe solutionnent le problème des données historiques lacunaires et souvent désuètes associé aux risques de catastrophe. Même si une société d'assurance prend soin de bien compiler pendant des décennies des données d'exposition et des données sur les événements, les données historiques sont parfois peu utiles pour expliquer la situation actuelle. Le comportement d'un risque peut changer au fil du temps. Chose plus importante encore, la localisation, la concentration et les caractéristiques des expositions ont considérablement évolué. Un bel exemple en est fourni

¹ (Walters et Morin, 1996)

² (Burger, Fitzgerald, White et Woods, 1996)

par l'amélioration générale des pratiques de construction, qui rend parfois les expositions plus résistantes, mais aussi plus coûteuses à reconstruire. Les modèles de catastrophe répondent aux attentes actuelles des parties, qui souhaitent que les paramètres relatifs aux événements tiennent compte de la situation actuelle des expositions.

L'approche commune aux modèles de catastrophe consiste à créer un ensemble d'événements (un catalogue d'événements), puis à modéliser la vulnérabilité des expositions à ces événements. Il s'agit d'établir des liens explicites entre les paramètres de l'événement générateur de sinistres et l'étendue des dommages qui en résulte, selon les caractéristiques de l'exposition. Cette approche permet d'examiner la variation des dommages entre diverses expositions. De plus, en modifiant les caractéristiques de l'exposition, on peut évaluer les effets de diverses mesures d'atténuation.

Du fait qu'ils produisent un vaste ensemble d'événements simulés, les modèles de catastrophe sont un moyen efficace d'étudier les probabilités d'événements de queue, la fréquence et la sévérité des événements les moins susceptibles d'avoir été observés dans le passé. Des milliers d'événements que l'on peut raisonnablement prévoir, mais qui n'ont jamais été observés, peuvent être inclus dans le catalogue des événements.

L'un des avantages de l'utilisation de la modélisation des catastrophes est qu'elle ne se limite pas à évaluer les sinistres relatifs aux expositions actuelles, telles que le portefeuille de polices en vigueur. De fait, les expositions hypothétiques ou « théoriques » peuvent aussi faire l'objet d'une modélisation, permettant ainsi d'avoir une vue des sinistres prévus relativement à un ensemble d'expositions potentielles.

Tout au long du processus de modélisation des catastrophes, il est possible d'étudier les variations éventuelles de la fréquence ou de la sévérité des événements. Autrement dit, l'analyse de sensibilité est l'un des avantages de l'utilisation constante d'un modèle de catastrophe.

Tout bien considéré, la modélisation des catastrophes donne une représentation complète des risques, ce qui facilite la communication des risques dans toutes leurs dimensions et la planification des éventualités.

Pour mettre les choses en contexte, nous allons illustrer l'utilisation des résultats des modèles de catastrophe dans la tarification et la souscription de l'assurance inondation.

2.3 Données de sortie habituelles des modèles de catastrophe

Les modèles de catastrophes peuvent produire une variété de résultats. Les sections suivantes en décrivent les principaux.

2.3.1 Sinistres liés aux événements

Le résultat le plus fondamental d'un modèle de catastrophe est l'estimation des sinistres pour chaque événement simulé. Pour la plupart des modèles de catastrophe d'aujourd'hui, ces sinistres peuvent être estimés à différents niveaux de détail, ce qui permet à l'utilisateur de savoir le montant des sinistres estimés pour un événement simulé donné sur tout sous-ensemble d'un portefeuille donné, par exemple, en fonction de limites géographiques, de branches d'assurance ou même pour des polices ou des lieux particuliers. Puisque toutes les autres mesures de sinistres découlent de ces estimations, elles peuvent être calculées selon les mêmes niveaux de détail.

Les estimations des sinistres liés aux événements sont souvent regroupées dans des *Event Loss Tables* (ELT) ou des *Year Loss Tables* (YLT), qui sont simplement des tableaux indiquant respectivement les sinistres associés à chaque événement simulé ou à chaque année simulée. Le YLT indique le total des estimations des sinistres pour tous les événements qui se produisent au cours de chaque année simulée.

2.3.2 Sinistre annuel moyen

Dans le contexte de la tarification, le sinistre annuel moyen (SAM) est sans doute la plus importante donnée de sortie du modèle de catastrophe. Il représente la valeur attendue des sinistres qui sera enregistrée dans une année donnée. Il est égal à la somme de tous les sinistres simulés liés aux événements, multipliée par la probabilité de chacun de ces événements. De nombreux modèles de catastrophe attribuent la même probabilité à tous les événements simulés ou à toutes les années simulées.

2.3.3 Coûts des sinistres

Les coûts des sinistres constituent un sous-produit naturel du SAM. Ils permettent d'ajuster les valeurs de SAM en fonction du montant de l'exposition qui a généré le SAM. Ils s'obtiennent en divisant le SAM par une mesure courante de l'exposition, telle que la valeur totale assurée.

2.3.4 Courbes de probabilité de dépassement

Les courbes de probabilité de dépassement (courbes PD) sont des données de sinistres qui sont le plus souvent associées aux modèles de catastrophe. Ils représentent la probabilité de dépasser différents niveaux de sinistres pour le risque ou les risques de catastrophe à l'étude. Ces courbes sont parfois appelées sinistres maximums probables (SMP), mais cette expression est trompeuse, car elle laisse entendre que le sinistre représenté est le sinistre maximum auquel on peut s'attendre, alors qu'il est presque toujours probable que surviennent des sinistres plus importants.

Les valeurs des probabilités de dépassement sont généralement exprimées en termes de probabilité et de montant de sinistre. Par exemple, la probabilité de dépassement de X % est égale à Y \$. Cet énoncé signifie qu'il y a une probabilité de X % d'atteindre ou de dépasser Y \$ de sinistre au cours d'une année donnée.

Il existe deux types de courbes PD couramment utilisées. La courbe PD Occurrence représente la probabilité que le plus **GROS** sinistre lié à un événement au cours d'une année donnée atteigne ou dépasse différentes valeurs. La courbe PD agrégée, quant à elle, représente la probabilité que le total des sinistres liés à **TOUS** les événements au cours d'une année donnée atteigne ou dépasse différentes valeurs.

Les courbes PD sont souvent exprimées aussi en termes de périodicité plutôt que de probabilité de dépassement. La périodicité est simplement l'inverse de la probabilité de dépassement. Par exemple, une probabilité de dépassement de 1 % est égale à une périodicité de 100 ans. Comme ce fut le cas avec SMP, l'expression « périodicité » est trompeuse, car elle laisse entendre l'écoulement d'une certaine période entre des événements de cette ampleur, alors qu'en réalité, elle représente la probabilité d'atteindre ou de dépasser ce niveau de sinistre au cours d'une année donnée.

La probabilité de dépassement est aussi souvent appelée valeur à risque (VaR). Une VaR de 1 % est égale à la probabilité de dépassement de 1 %.

2.3.5 Écart-type

L'écart-type est une mesure courante dans de nombreuses applications statistiques, y compris la modélisation des catastrophes. Selon le contexte, l'écart-type obtenu d'un modèle de catastrophe peut représenter différentes choses.

Si l'écart-type est cité dans le contexte d'un SAM, d'une courbe PD, d'un ELT ou d'un YLT, il désigne habituellement l'écart-type de la distribution des estimations d'événements ou de sinistres annuels. Il s'agit de l'utilisation la plus courante de cette mesure dans la modélisation des catastrophes.

De nombreux modèles de catastrophe intègrent la notion d'incertitude secondaire. Les estimations de sinistres produites par un modèle de catastrophe représentent des estimations moyennes des dommages causés par un événement donné. En réalité, il existe une incertitude quant au montant des dommages liés à un événement donné. Cette incertitude est représentée par une distribution (la distribution de l'incertitude secondaire) qui peut persister dans les calculs financiers d'un modèle de catastrophe, et constitue un moyen important de quantifier l'impact prévu des conditions d'assurance lorsque le montant des dommages est incertain. Lorsque l'écart-type est employé dans le contexte d'une seule estimation des sinistres liés à un événement, il s'agit de l'écart-type de la distribution de l'incertitude secondaire.

2.3.6 Valeur à risque conditionnelle

La valeur à risque conditionnelle (TVaR) est un dérivé des courbes PD. Plutôt que de représenter la probabilité de dépasser un certain niveau de sinistre, elle représente la moyenne de tous les sinistres attendus au-delà d'une certaine probabilité de dépassement. Elle est égale à la somme de tous les points de la courbe PD, multipliée par la probabilité de survenance de chacune de ces années ou de chacun de ces événements. Elle représente une espérance conditionnelle du montant des gros sinistres, sachant qu'ils sont supérieurs à un certain seuil. Il s'agit d'une mesure courante de la queue de la courbe PD.

2.3.7 Intensité

Bien que les principales données de sortie des modèles de catastrophe soient des estimations financières, une donnée intermédiaire pourrait être l'intensité de chaque événement simulé à chaque lieu modélisé. Les mesures de l'intensité varient selon le risque modélisé et sont souvent utilisées pour valider les sinistres produits par un modèle. La vitesse du vent (ouragans, orages violents et tempêtes hivernales), l'accélération maximale du sol (tremblements de terre) et la profondeur d'inondation (ondes de tempête et inondations à l'intérieur des terres) sont des mesures d'intensité fréquemment utilisées, mais chaque modèle a les siennes.

2.4 Types de modèles de catastrophe liés aux inondations

Le risque d'inondation est souvent exprimé en termes de zones inondables représentées sur des cartes. Il s'agit là d'une façon bien pratique de localiser les risques. Habituellement, une carte des risques d'inondation indique la zone où l'on peut s'attendre à ce qu'une eau d'une profondeur prédéterminée soit présente au moins une fois, disons, tous les 100 ans. Contrairement à cette approche, les modèles entièrement probabilistes utilisent habituellement des dizaines de milliers d'événements simulés pour représenter les risques. La carte des risques est un sous-produit de ces modèles. Outre les risques, ces modèles tiennent compte de la vulnérabilité des expositions actuelles ou futures à ces événements et convertissent l'étendue des dommages en termes financiers, avec ou sans l'application des conditions d'assurance.

Les modèles d'ouragans ou, de façon plus générale, de cyclones tropicaux englobent souvent les inondations côtières causées par les ondes de tempête. Les modèles relatifs aux inondations à l'intérieur des terres permettent d'évaluer l'impact d'événements loin des côtes. Elle peut se limiter à l'étude des phénomènes dans les plaines inondables et des effets du débordement des ruisseaux ou des rivières, aussi appelée inondation fluviale. Les inondations à l'intérieur des terres peuvent également se produire en dehors des plaines inondables lorsque la pluie apporte plus d'eau qu'une zone locale ne peut absorber. Ce dernier type porte le nom d'inondation pluviale.

2.5 Validation des modèles

L'utilisation de modèles de catastrophe est devenue une procédure bien établie dans de nombreux domaines et ne cesse de croître à mesure que le processus de modélisation évolue et qu'il s'adapte à de nouveaux risques. Néanmoins, leur utilisation ne fait pas partie intégrante du travail d'un grand nombre d'actuaire, si bien que ces derniers doivent passer par une période d'apprentissage qui leur est propre en ce qui a trait à la modélisation de catastrophe. Aux États-Unis, l'Actuarial Standards Board a publié un document utile intitulé « Using Models Outside the Actuary's Area of Expertise »³, qui définit les exigences que doivent respecter les actuaires américains qui utilisent des modèles en dehors de leur domaine de spécialité. Au Canada, les normes actuarielles traitent de façon générale l'utilisation de modèles dans les travaux actuariels, et ces conseils se trouvent à la section 1000 – Section générale⁴.

Habituellement, les fondements des modèles de catastrophe n'entrent pas dans le champ de spécialité de l'actuaire qui fait partie du service de tarification, car ils font intervenir des représentations complexes des caractéristiques physiques du risque et des dommages ultérieurs aux constructions assurées. Pour ce qui est du risque d'inondation en particulier, sa modélisation nécessite la participation d'experts en climatologie, en météorologie, en hydrologie, en systèmes d'information géographique et en génie civil – des champs de connaissance qui ne font sans doute pas partie du domaine de spécialité de l'actuaire. En conséquence, la norme ASOP 38 exige que les actuaires qui utilisent un de ces modèles :

1. Fassent appel à des experts s'il y a lieu;
2. Aient une bonne compréhension de base du modèle;
3. Évaluent si le modèle convient à l'usage prévu;
4. Déterminent s'il y a eu une validation adéquate;
5. Déterminent le bon usage du modèle.

³ (Actuarial Standards Board, É.-U., 2011), norme ASOP 38.

⁴ (Conseil des normes actuarielles, Canada, 2017) – Paragraphes 1110.31.1 à 1110.31.5, sous-section 1535 (Modèles), 1540.01.1, 1540.05 à 1540.09, 1560.09 à 1550.11, 1619.12, section 1700 (Hypothèses), 1820.01, et 1820.26.1 à 1820.26.3.

Bien que les actuaires canadiens ne soient pas soumis aux normes de pratique de l'American Academy of Actuaries, celles-ci forment un référentiel solide qu'ils peuvent consulter pour garantir une utilisation valide du modèle.

Les actuaires doivent chercher à savoir si les experts des domaines susmentionnés ont participé au développement et à l'examen du modèle. Ils peuvent examiner les curriculum vitae et les titres de compétence des experts et déterminer les parties d'élaboration du modèle auxquelles ces experts ont participé. Ils doivent aussi vérifier si des tiers compétents ont examiné les modèles en plus des développeurs initiaux.

En règle générale, les fournisseurs des modèles de catastrophe fournissent de la documentation sur le développement des modèles afin d'aider les utilisateurs à bien comprendre les composantes de base du modèle, ainsi que les données d'entrée et de sortie. Les actuaires doivent prendre connaissance de cette documentation pour bien comprendre les différentes composantes et leur interaction avant de produire des estimations des sinistres.

Dans le cadre de l'évaluation des composantes du modèle, les actuaires doivent s'assurer que le modèle produit des données appropriées. Dans le cas des modèles de catastrophe, cet examen englobe les sinistres annuels moyens au titre des polices à l'étude, ainsi que les distributions des sinistres du portefeuille ou de certains sous-ensembles du portefeuille. Les sinistres annuels moyens doivent refléter les sinistres moyens à long terme relatifs aux polices du portefeuille.

L'idée que l'on se fait des données de sortie du modèle doit correspondre aux statistiques des sinistres simulées. Si des sinistres directs sont simulés, le modèle doit tenir compte des conditions d'assurance, telles que les montants de garantie et les franchises. Si ce sont des sinistres nets de réassurance qui sont simulés, le modèle doit en plus appliquer les termes et les conditions de la réassurance. Si, pour quelque raison que ce soit, cela n'est pas possible, l'actuaire doit modifier adéquatement les résultats du modèle pour assurer l'équivalence.

Les risques à modéliser doivent être représentatifs des risques à tarifier. Les risques non couverts doivent être exclus des résultats du modèle, et tous les risques non modélisés doivent être traités séparément dans le tarif. De même, si, pour quelque raison que ce soit, il existe dans le portefeuille à l'étude des polices qui ne sont pas incluses dans les résultats du modèle, que ce soit parce qu'elles sont en dehors du domaine du modèle ou parce qu'il n'y a pas de relation d'endommagement dans le modèle, ces polices doivent être traitées séparément.

Il doit y avoir une validation approfondie du modèle, sous divers angles. Nous indiquons ci-après des types de validation couramment effectués à l'égard des modèles de catastrophe, quoique leurs particularités varient selon le modèle de catastrophe et ce qu'il est censé représenter :

1. La fréquence des événements peut être comparée à la fréquence historique des événements ou à un consensus scientifique sur la fréquence future des événements.
2. La représentation de l'intensité des événements historiques modélisés peut être comparée aux observations réelles de l'intensité de ces événements.
3. Les distributions de dommages découlant d'événements récents peuvent être comparées aux estimations de sinistres modélisées obtenues à partir des données d'exposition des polices en vigueur à ce moment-là.

Enfin, les actuaires doivent veiller à l'utilisation appropriée des résultats du modèle. Les coûts des sinistres produits par le modèle doivent être bien intégrés aux formules de tarification, et les recouvrements de réassurance doivent être bien répartis pour ajuster les taux.

Section 3 Utilisation courante des modèles de catastrophe dans la tarification au Canada

3.1 Pratiques courantes de tarification des catastrophes au Canada

Dans le cadre des recherches qui ont conduit à la préparation du présent document, l'équipe a réalisé un sondage par échantillonnage stratifié avec la participation de 11 sociétés d'assurance canadiennes, afin d'étudier la diversité des méthodes de tarification actuellement employées au Canada pour prendre en compte l'expérience réelle ou les résultats des modèles. Le sondage a été mené au moyen d'entrevues téléphoniques au cours du premier trimestre de 2017. Les sociétés ont été choisies par l'équipe de projet et toutes celles qui ont été abordées ont accepté de participer au sondage. Ce choix s'est effectué de façon à sonder :

- Les assureurs nationaux et régionaux;
- Les assureurs de grande ou moyenne taille;
- Les assureurs avec réseau de courtiers et vente directe de produits;
- Les réassureurs et les assureurs directs;
- Les assureurs domiciliés au Canada ainsi que les succursales et filiales de sociétés d'assurance multinationales.

Le questionnaire du sondage figure à l'Annexe A – Questions du sondage auprès des assureurs canadiens.

Tel qu'il a été convenu avec les participants, les détails des réponses sont présentés ici sous couvert d'anonymat. Les réponses individuelles des sociétés ne sont pas divulguées. Nous présentons ci-après un résumé des résultats du sondage.

Nous avons appris qu'une multitude de méthodes de tarification des catastrophes était actuellement utilisée, avec des différences qui varient selon la taille de l'assureur et le lieu et les types de risques, plus précisément :

- Risque de tremblements de terre
 - Tous les participants exposés au risque de tremblements de terre ont indiqué qu'ils utilisaient les résultats d'un modèle de simulation de catastrophe pour déterminer les territoires de tarification (y compris pour cartographier les régions exclues) et souvent pour calculer les taux de la garantie tremblements de terre.
 - De nombreux participants ont indiqué que les coûts de réassurance de la garantie tremblements de terre étaient intégrés aux tarifs des biens dans les régions sujettes aux tremblements de terre.
 - Les résultats des modèles de catastrophe servent également à la sélection et à la gestion des risques. La surveillance et la gestion de la concentration des expositions revêtent une grande importance pour nombre de participants.
 - La plupart des participants ont indiqué que les tarifs tenaient habituellement compte des dépenses spécifiques relatives aux catastrophes et des coûts de capital et de réassurance.
- Les méthodes de tarification des catastrophes autres que les tremblements de terre (incendies de forêt, tempêtes de vent, grêle, inondations) varient d'un participant à l'autre :
 - Certains assureurs ont décrit une méthode selon laquelle les résultats d'un modèle de simulation des catastrophes mis au point par un tiers ou à l'interne sont intégrés à leur exercice de tarification et à leurs politiques de souscription. Les résultats de ces modèles ne sont parfois utilisés que pour établir des secteurs et des zones de tarification. Dans d'autres cas, des mesures annuelles agrégées des sinistres sont élaborées pour chaque secteur et chaque zone et servent à établir les taux spécifiquement pour le risque de catastrophe.
 - D'autres assureurs ont décrit des méthodes selon lesquelles un mélange de résultats historiques et de résultats tirés du modèle de simulation des catastrophes d'un tiers. Diverses méthodes existent selon la disponibilité des données historiques sur les sinistres par risque et la disponibilité des modèles de catastrophe. Lorsque des données historiques sont utilisées, les montants des sinistres liés aux catastrophes sont habituellement séparés des autres sinistres. Les participants font habituellement le suivi de l'expérience réelle à partir d'un historique aussi crédible que possible, et la plupart d'entre eux ajustent les niveaux historiques des demandes d'indemnités pour tenir compte des hausses inflationnistes des coûts des biens assurés.
 - Pour ce qui est des risques comme les incendies de forêt et les inondations (plus particulièrement la protection contre les refoulements d'égout), la plupart des participants ont fait savoir qu'ils n'utilisaient pour la tarification

que leurs propres statistiques historiques rajustées. L'absence d'un modèle crédible de catastrophes dans l'industrie est la principale raison de cette approche.

En ce qui a trait à l'affectation des coûts supplémentaires découlant de l'exposition aux catastrophes, ces coûts sont parfois répartis entre les branches d'assurance ou les régions en plus des données historiques propres des assureurs ou des données de l'industrie (lorsqu'elles sont disponibles et lorsque les données historiques sont peu crédibles). On note une grande différence dans la répartition des coûts d'exposition aux catastrophes entre les diverses méthodes de tarification. Par exemple, des coûts de réassurance sont parfois appliqués globalement ou pour un risque spécifique, alors que dans d'autres cas, ils ne sont pas explicitement inclus dans les taux.

La majorité des participants ont indiqué que leur méthode de tarification était en place depuis plusieurs années. Toutefois, ils ne cessent de revoir leur processus afin de peaufiner et d'améliorer continuellement leurs méthodes. Ces améliorations comprennent très souvent le développement de capacités de modélisation ou l'utilisation de modèles externes.

Les participants ont formulé les commentaires suivants lorsqu'ils ont été interrogés au sujet des difficultés ou des problèmes que posent les pratiques actuelles :

- Manque de données d'expérience crédibles dans certaines régions ou certains secteurs;
- Difficulté à évaluer les nouveaux risques;
- Risque de modélisation et difficultés de mise en œuvre (par exemple, manque de connaissance interne des modèles);
- Capacité de prévoir les risques imprévus ou négligés (par exemple, une situation comme les incendies de Fort McMurray, en 2016).

3.2 Comparaison des pratiques d'assurance inondation au Canada et aux États-Unis

En règle générale, dans la plupart des provinces canadiennes, il n'y a pas de règlement obligeant le dépôt des plans de tarification et, plus particulièrement, il n'existe aucune obligation de dépôt des plans de tarification d'assurance des catastrophes au Canada. Aux États-Unis, les programmes de tarification qui intègrent les résultats des modèles de catastrophe doivent habituellement être déposés auprès des autorités de contrôle des États. Certains États, telle la Floride, exigent même l'utilisation d'un certain type approuvé de modélisation des catastrophes pour tarifier la garantie ouragan en assurance habitation.

Au Canada, les assureurs privés viennent tout juste de commencer à offrir l'assurance inondation. En général, les programmes de reprise après sinistre inondation ont historiquement été à la charge des contribuables par le biais des Accords d'aide financière en cas de catastrophe (AAFCC)⁵. Aux États-Unis, le National Flood Insurance Program (NFIP), administré par le gouvernement fédéral, offre une assurance contre les inondations pour les biens situés dans des zones sujettes aux inondations. On estime que seulement 50 % des habitations situées en zones inondables à l'échelle nationale sont assurées par le NFIP⁶.

3.3 Problèmes avec les pratiques actuelles

Nous décrivons ici les problèmes liés aux pratiques actuelles de tarification au Canada que nous avons recensés au moyen de notre sondage auprès des sociétés d'assurance canadiennes et de notre revue de la documentation.

Les assureurs qui utilisent des méthodes de tarification axées sur l'expérience historique et qui ne se servent pas de modèles de simulation de catastrophes devraient prendre en considération :

- L'absence de données historiques appropriées et d'expérience crédible;
- La difficulté d'estimer des événements peu fréquents et de grande sévérité avec des données s'étalant sur un nombre d'années limité;
- Les méthodes rétrospectives ne tiennent pas toujours compte de l'évolution des circonstances futures et des milieux environnants qui influent sur l'expérience future potentielle;

⁵ (Bureau d'assurance du Canada, 2005)

⁶ (Dixon, Clancy, Seabury et Overton, 2006)

- L'étendue des pratiques de tarification dans l'ensemble de l'industrie est sujet d'inquiétude pour les responsables chargés de réglementer et de contrôler l'exposition du secteur aux risques de catastrophe;
- Il peut être difficile de refléter avec exactitude les dépenses et les coûts dans les taux et de les répartir entre les branches d'assurance ou des risques particuliers;
- La difficulté de prendre en compte le risque d'événement rare lorsque l'on se fie uniquement à un ensemble distinct de données historiques;
- La difficulté de fixer des tarifs pour de nouveaux secteurs et de nouvelles régions dans le cadre d'une expansion;
- La difficulté d'établir des zones de risque et de cartographier les risques aux fins de la tarification et de la souscription.

Il ressort clairement de notre sondage que la méthode de tarification s'améliorerait de façon significative si elle utilisait les résultats des modèles de simulation des catastrophes et les données d'expérience historiques. Cela renforcerait l'approche de tarification et la gestion de l'exposition aux risques. Toutefois, pour ceux qui utilisent des modèles de simulation des catastrophes pour calculer les tarifs ou sélectionner les risques, soit isolément, soit en combinaison avec les données d'expérience historique, les questions et préoccupations suivantes devraient être prises en compte :

- Le manque de compréhension du modèle chez les utilisateurs;
- L'élaboration d'une méthode appropriée et cohérente pour intégrer les modèles de simulation des catastrophes aux calculs de tarification;
- La nécessité d'établir si le modèle est réellement lié à l'exposition au risque spécifique de chaque société d'assurance qui l'utilise;
- L'absence de modèles conçus spécifiquement pour le Canada et les problèmes liés à la modification d'un modèle conçu pour être utilisé dans d'autres pays ou régions (par exemple, l'utilisation d'un modèle conçu pour les risques d'incendie de forêt en Californie, aux États-Unis, pour prévoir les sinistres dans les zones sujettes aux incendies de forêt au Canada);
- La disponibilité de modèles pour les nouveaux risques;
- Les coûts d'achat ou de développement du modèle.

Outre ce qui précède, la majorité des assureurs canadiens sondés ont indiqué qu'ils souhaitaient disposer d'outils et de modèles adaptés aux risques au Canada. Ils ont également indiqué que l'élaboration d'une méthode pratique de tarification qui intègre les résultats des modèles de simulation des catastrophes était certainement préférable à l'utilisation de la seule expérience historique.

Section 4 État actuel de l'assurance contre les inondations au Canada

Comme nous le verrons à la section 6, la démonstration de faisabilité que nous proposons porte sur le risque d'inondation. Nous présentons ici en détail l'offre actuelle de produits sur le marché canadien et les pratiques de tarification des assureurs canadiens du risque d'inondation. Nous procédons ainsi afin d'étayer la démonstration de faisabilité explicitée plus loin.

4.1 Offre standard de polices

Nous avons effectué des recherches en ligne sur la protection d'assurance contre les dégâts d'eau offerte par huit sociétés d'assurance canadiennes, afin de connaître les types de produits actuellement offerts au Canada. Toutes ces sociétés ont participé au sondage sur les pratiques de tarification évoquée précédemment.

En général, toutes les sociétés offrent aux titulaires l'option de souscrire une meilleure protection contre les dégâts d'eau sous forme d'avenant. Ces avenants s'ajoutent à la garantie de base de la police et toutes les sociétés vendent ces avenants à des tarifs distincts de ceux de la garantie de base. Nous donnons ci-après de plus amples informations sur les avenants offerts au Canada.

En règle générale, deux approches sont utilisées à l'égard des produits que nous avons examinés. L'une consiste à offrir une protection accrue contre les dégâts d'eau dans un seul avenant, et l'autre, à offrir cette couverture sous forme de deux avenants distincts. Les principales garanties offertes par les avenants sont la protection contre les refoulements d'égout et la couverture des dommages causés par les eaux de surface.

Les sociétés qui offrent deux avenants distincts séparent habituellement la protection contre le refoulement des égouts de la garantie contre les eaux de surface. Selon le prospectus du produit, cette stratégie permet de réduire les taux de primes des personnes qui sont faiblement exposées au risque des eaux de surface, par exemple, celles qui habitent loin des plaines inondables. Cela dit, certaines sociétés exigent l'achat de la protection contre les refoulements d'égout comme condition préalable à l'achat de l'avenant contre les eaux de surface.

La majorité des avenants pour refoulement des égouts couvrent :

- Le refoulement d'eau ou d'eaux usées dans les drains, tuyaux ou accessoires reliés au réseau public d'égouts;
- Le refoulement de la pompe de vidange;
- Le refoulement du réservoir de rétention ou septique.

La majorité des garanties contre les eaux de surface comprennent habituellement une protection contre :

- Les dégâts d'eau causés par le débordement d'un lac ou d'une rivière;
- L'infiltration d'eau en raison de fortes pluies ou de la fonte rapide de la neige et qui pénètre dans l'habitation à une hauteur supérieure ou égale à celle du sol.

Les exclusions ou clauses restrictives des avenants prévoient habituellement :

- La protection n'est pas offerte aux propriétaires d'habitations dans certaines zones très vulnérables ou aux propriétaires de certains types d'habitations (maisons mobiles, résidences secondaires, habitations avec allée en pente négative);
- Les dispositions qui excluent le cumul de réclamations sous plusieurs avenants et qui séparent habituellement ce qui est couvert par les refoulements d'égout de ce qui est couvert contre les eaux de surface;
- L'exclusion des inondations causées par les eaux souterraines ou l'élévation de la nappe phréatique, les vagues, les raz-de-marée, les tsunamis, les ondes de tempête, l'eau salée, la rupture de barrages ou les inondations côtières;
- Certains contrats excluent les cas d'obstruction de drains ou de dalots souterrains, de détérioration ou de corrosion des toits, de mauvaise installation des descentes d'eaux pluviales ou des gouttières, du mauvais scellement des solins ou des événements.

Certains avenants offrent une protection additionnelle couvrant des circonstances particulières provoquant une infiltration d'eau souterraine dans l'habitation et qui ne sont habituellement pas couvertes par la police d'assurance de base du propriétaire.

Plusieurs sociétés ont fait savoir que les garanties, les limitations et les exclusions des avenants pouvaient varier en fonction de la province.

L'introduction récente, sur le marché, d'avenants d'assurance contre les inondations s'explique par le fait que les demandes d'indemnisation des dommages causés par l'eau représentent aujourd'hui la principale cause des sinistres d'assurance habitation à l'échelle du pays. En dépit de l'absence de protection dans le passé prévue dans les polices de base, les assureurs ont souvent fini par payer pour les dégâts d'eau causés par les inondations majeures, en raison de la difficulté à déterminer les causes des sinistres et le désir de protéger leur réputation pendant les grandes inondations.

Il importe aussi de rappeler encore une fois qu'une grande partie des coûts des inondations catastrophiques au Canada a été assumée par les contribuables par le biais des programmes de secours offerts par les administrations municipales et provinciales, qui bénéficient parfois du soutien financier du programme fédéral AAFCC. En cas de catastrophes naturelles à grande échelle, le gouvernement fédéral canadien verse une aide financière directement aux administrations publiques provinciales et territoriales par le biais du programme AAFCC. Le gouvernement fédéral octroie des aides lorsque les coûts d'intervention et de rétablissement des catastrophes naturelles dépassent ce que les provinces et les territoires sont normalement en mesure d'assumer eux-mêmes. Ce point de déclenchement varie selon la province en fonction de sa population. Les AAFCC offrent un soutien grandissant à mesure que les coûts de rétablissement augmentent.

Toutefois, les coûts de restauration ou de remplacement des biens assurés ou assurables ne sont pas admissibles à la couverture des AAFCC. « En vertu des AAFCC, le terme assurable signifie que la couverture d'assurance prévue dans le cas d'un danger particulier pour une personne, une famille, le propriétaire d'une petite entreprise ou un agriculteur était offerte dans la région à un coût raisonnable. Le coût raisonnable et l'accessibilité sont déterminés conjointement par la province et le directeur régional de Sécurité publique Canada.⁷ » Selon les AAFCC, les coûts qu'une province peut soumettre à indemnisation sont les coûts nets après recouvrement des paiements d'assurance, entre autres sources.

Depuis l'introduction sur le marché des nouveaux avenants susmentionnés, les sociétés d'assurance assument une plus grande part des coûts du risque d'inondation en tant que premiers payeurs des dommages causés par l'eau déclarés par les titulaires de polices qui habitent des régions assurables au Canada. Les programmes publics de secours visent à couvrir les coûts supérieurs aux sinistres d'assurance, le cas échéant. Cela dit, les programmes provinciaux de secours et le programme AAFCC continueront de verser des indemnités en cas de sinistres dans les zones qui ne sont pas assurables en raison de leur proximité aux plaines inondables et qui sont très susceptibles de subir des dommages par inondations. Dans ces zones, souvent aucune couverture n'est offerte.

4.2 Méthodes actuelles de tarification

Si les méthodes qu'emploient les assureurs canadiens pour fixer les tarifs des nouveaux avenants d'assurance contre les dégâts d'eau sont diverses, elles présentent néanmoins plusieurs caractéristiques communes.

Les avenants pour dégâts d'eau sont tarifés séparément des garanties de base de la police d'assurance des biens, à l'exception de certaines polices d'assurance pour entreprises. Certaines sociétés incluent la couverture supplémentaire concernant l'eau dans leurs polices tous risques de base.

L'information qui suit concernant les pratiques de tarification des avenants d'assurance inondation est tirée de notre sondage auprès des assureurs canadiens dont nous avons parlé précédemment, et dont les résultats sont décrits en détail à la section 3 ci-dessus.

⁷ (Sécurité publique Canada, 2007)

- Il est courant pour les assureurs d'utiliser leur propre expérience historique ainsi que les résultats d'un modèle de simulation des catastrophes d'un tiers pour tarifier une protection supplémentaire contre les dégâts d'eau et pour procéder à la souscription de ces risques.
- Certains assureurs n'utilisent pas explicitement les résultats des modèles de catastrophe dans leur méthode de tarification, mais la majorité utilise ces modèles pour la cartographie territoriale des zones tarifaires et pour établir des politiques de souscription.
- Il semble que l'absence de modèles spécifiques au Canada et le développement relativement récent des avenants d'assurance inondation pour le marché canadien soient les principales raisons du ralentissement du développement des pratiques de tarification à l'aide de modèles de simulation des catastrophes.
- Certains assureurs ont aussi indiqué que leurs méthodes de tarification étaient toujours en voie de développement et d'amélioration et que l'élaboration des modèles de catastrophe représentait un potentiel d'amélioration important des tarifs d'assurance inondation.
- Les méthodes de tarification tiennent compte de la nécessité de comptabiliser avec exactitude les coûts et les dépenses supplémentaires liés aux risques de catastrophe, ce qui comprend les coûts de réassurance et les coûts du capital engagé par les réassureurs.

Section 5 Méthode de tarification proposée

La section suivante décrit, en termes généraux, la méthode que l'équipe de recherche recommande pour intégrer les résultats de la modélisation des catastrophes dans les tarifs d'assurance inondation au Canada. Bon nombre des principes s'appliqueront également de manière générale à d'autres risques de catastrophe, mais certains points porteront spécifiquement sur le risque d'inondation.

5.1 Notions générales de tarification

Les sections qui suivent présentent une méthode générale pour intégrer les modèles de catastrophe à l'activité de tarification. Certains aspects sont relativement standards d'une tarification à l'autre, mais certains sont plus spécifiques aux risques de catastrophe, comme les charges de risque et les dépenses de réassurance.

5.1.1 Méthode de la prime pure

La méthode de la prime pure⁸ est une approche standard en tarification. Ici, la prime pure représente la prime moyenne par unité d'exposition. Le taux moyen englobe les sinistres moyens et les frais de règlement, une charge de risque, des dépenses et des provisions pour profit, selon la formule ci-dessous.

$$\text{Taux moyen} = \frac{\text{Prime pure (sinistre moyen et frais de règlement)} + \text{Charge de risque} + \text{Dépenses fixes par exposition}}{1 - \text{Ratios des dépenses variables et du profit}}$$

En règle générale, les sinistres moyens sont tirés des données historiques sur les sinistres de l'assureur, mais lorsqu'il s'agit de tarifier un risque de catastrophe comme les inondations, les statistiques réelles des sinistres doivent être utilisées avec prudence. Cette prudence s'explique par le fait que les événements catastrophiques sont rares, difficiles à prévoir et peuvent provoquer des sinistres fortement corrélés relativement à un ensemble d'expositions.

La méthode de la prime pure est donc modifiée dans le cas des risques de catastrophe afin de remplacer la totalité ou une partie des statistiques des sinistres historiques par des estimations modélisées des sinistres. En raison de la faiblesse de l'activité d'assurance inondation au Canada, l'expérience historique des sinistres est limitée. Dans certains cas, les assureurs ont étudié les données historiques sur les réclamations pour refoulement d'égout afin de pallier la rareté des données sur les réclamations pour inondations. Par conséquent, dans ce cas, il est préférable d'utiliser des estimations modélisées des sinistres pour remplacer l'expérience historique des sinistres. Ainsi, si l'on se réfère à la formule ci-dessus, « sinistre moyen » se définit comme étant le sinistre annuel moyen produit par un modèle de catastrophe.

Une solution de rechange à la méthode de la prime pure est celle du taux de sinistre. La méthode de la prime pure est adéquate pour produire un manuel de tarification pour une nouvelle branche d'assurance ou un nouveau risque, tandis que la méthode du taux de sinistre convient mieux au calcul des changements de taux indiqués. Puisque nous cherchons ici à évaluer un nouveau risque, nous avons choisi la méthode de la prime pure, mais la méthode du taux de sinistre est théoriquement identique, et l'expérience des sinistres tirée d'un modèle peut remplacer une partie ou la totalité de celle qui est traditionnellement utilisée dans la méthode du taux de sinistre.

⁸ (Werner et Modlin, 2009), chapitre 8.

5.1.2 Charge de risque

Outre les sinistres moyens, la formule du taux moyen ci-dessus fait mention d'un chargement reflétant le coût de la prise en charge du risque pour l'assureur. Cela est particulièrement important dans le cas des risques de catastrophe, pour lesquels la volatilité attendue de l'expérience des sinistres est beaucoup plus élevée que pour les risques assurés traditionnels, tels le risque incendie ou le vol. Kreps a proposé un cadre pour calculer la charge de risque, qui fait intervenir un facteur de réticence, selon la formule suivante⁹ :

$$\text{Charge moyenne de risque} = \frac{R * \sigma}{\text{Exposition}}$$

où R , le facteur de réticence, est calculé selon la formule de Kreps, et σ désigne l'écart-type de l'expérience des sinistres. R s'obtient par la formule suivante :

$$R = \frac{y * Z}{1 + y}$$

où y = le rendement attendu et Z = un point choisi de la distribution normale reflétant le centile souhaité du risque (habituellement le 95^e ou le 99^e centile). Ici encore, les distributions de sinistres qui servent à calculer l'écart-type s'obtiennent au mieux au moyen d'un modèle de catastrophe.

Selon Kreps, la raison qui sous-tend le choix d'un facteur de réticence est la reconnaissance de l'obligation de constituer un surplus pour supporter la variabilité de l'expérience du portefeuille. Kreps représente le surplus requis comme étant égal à un point de la distribution qui correspond à une probabilité acceptable (Z) que le résultat réel nécessite l'allocation d'un plus grand surplus (S), multipliée par le surplus moins le rendement attendu (r). Cette formule s'exprime ainsi :

$$S = Z * \sigma - r$$

Le rendement attendu est aussi égal au rendement attendu du surplus du portefeuille :

$$r = y * S$$

S'agissant de deux définitions du rendement attendu, nous substituons les résultats et obtenons :

$$y * S = Z * \sigma - S, \text{ ou}$$

$$S = \frac{Z * \sigma}{(1 + y)}$$

Nous opérons une substitution dans la formule du rendement attendu ($r = y * S$) et obtenons :

$$r = \left(\frac{y}{1 + y} \right) * Z * \sigma$$

Vu que la charge de risque se définit comme étant le facteur de réticence (R) multiplié par l'écart-type (σ), nous obtenons :

$$R = \frac{y}{(1 + y)} * Z$$

⁹ (Kreps, 1990)

Par conséquent, les principaux aspects dont le praticien doit tenir compte sont le choix de Z , qui est égal à un point de la distribution exprimé en pourcentage et correspond à la probabilité acceptable que le résultat réel nécessite l'allocation d'un plus grand surplus, et le choix de y , qui correspond au rendement souhaité du portefeuille. Ces choix dépendront probablement des prévisions de la conjoncture du marché faites par l'actuaire, du degré d'aversion pour le risque et de la capacité financière de la société.

La méthode avec charge de risque décrite ici, qui utilise l'écart-type, n'est qu'une des méthodes employées pour calculer la charge de risque. Il s'agit de la plus courante. D'autres utilisent la valeur à risque, la valeur à risque conditionnelle, et aussi d'autres méthodes plus complexes qui font appel à des techniques de simulation. Il existe une diversité d'ouvrages actuariels qui exposent et analysent ces méthodes, dont *Catastrophe Pricing: Making Sense of the Alternatives*, par Ira Robbin¹⁰, et *An Introduction to Risk Measures for Actuarial Applications*, par Mary Hardy¹¹. À la Section 7, nous ferons une brève évaluation des avantages relatifs de ces méthodes. Il convient toutefois de souligner que l'utilisation d'un modèle de catastrophe en lieu et place de données historiques améliore l'exactitude et la stabilité de ces mesures de la même façon qu'elle le fait avec la méthode Kreps.

5.1.3 Autres composantes des taux

Outre les composantes de taux qui sont fonction des sinistres, la formule ci-dessus comporte plusieurs provisions pour dépenses et profits. Ces provisions incluent :

1. Les commissions;
2. Les taxes et impôts;
3. Les dépenses fixes;
4. La provision pour bénéfices techniques (profit);
5. Le rendement des placements;
6. Le ratio des primes au surplus (PS);
7. Le facteur de tendance;
8. Les frais de règlement des sinistres.

La détermination de ces divers facteurs dépasse le cadre de cette étude, mais il est important de les inclure dans le calcul du taux global. L'intégration de ces facteurs produit la formule suivante pour le taux moyen :

$$\text{Taux moyen} = \frac{[(\text{Sinistres moyens}) * (1 + \text{Tendance}) * (1 + \text{Frais de règlement})] + (\text{Charge de risque}) + (\text{Dépenses fixes})}{\{1 - \text{Commissions} - \text{Taxes et impôts} - \text{Profit} + [(\text{Rendement des placements}) * (1 + (1/PS))]\}}$$

5.1.4 Coût net de réassurance

Puisque la réassurance est un mécanisme fréquemment utilisé pour transférer les risques de catastrophe, il est nécessaire d'intégrer le coût de cette réassurance et de ses recouvrements pour déterminer la prime à exiger. Cet ajustement consiste à ajouter le coût de la réassurance à titre de dépense fixe et à ajuster la charge de risque et les sinistres moyens pour tenir compte des recouvrements de réassurance. La formule ci-dessus devient donc :

$$\text{Taux moyen} = \frac{[(\text{Sinistres nets moyens}) * (1 + \text{Tendance}) * (1 + \text{Frais de règlement})] + (\text{Charge nette de risque}) + (\text{Dépenses fixes}) + (\text{Coût de réassurance})}{\{1 - \text{Commissions} - \text{Taxes et impôts} - \text{Profit} + [(\text{Rendement des placements}) * (1 + (1/PS))]\}}$$

Encore une fois, on peut utiliser des modèles de catastrophe pour estimer l'impact de la réassurance sur les sinistres attendus. Cet impact peut ensuite être pris en compte dans le calcul de l'écart-type lors du calcul de la charge de risque. Le coût de la réassurance peut être déterminé en fonction des conditions du marché de la réassurance, mais il peut aussi être estimé pour un portefeuille donné à l'aide de techniques semblables à celles décrites précédemment, mais relativement aux sinistres attendus selon le traité de réassurance.

¹⁰ (Robbin, Ph.D, 2013)

¹¹ (Hardy, 2016)

Nous avons supposé ici que le coût de la réassurance était une charge fixe, mais dans certains cas, il peut être préférable d'attribuer la prime de réassurance en fonction des sinistres attendus relativement aux différents risques du portefeuille. Les résultats du modèle de catastrophe peuvent également être facilement utilisés à cette fin, c'est-à-dire que la réassurance pourrait être répartie entre les territoires en fonction des sinistres par territoire, des charges de risque ou des composantes de la charge de risque, par exemple l'écart-type.

5.1.5 Facteurs de relativité

Jusqu'à présent, les techniques décrites ont été appropriées pour déterminer le taux moyen du portefeuille, mais, quel que soit le plan de tarification, il est nécessaire de faire la distinction entre les risques pour bien prendre en compte le risque relatif des différentes polices et d'éviter les problèmes d'antisélection. Cette différenciation est souvent déterminée au moyen de facteurs de relativité, qui permettent d'ajuster le taux moyen pour tenir compte du risque inférieur ou supérieur d'une police particulière.

Le but des facteurs de relativité est de déterminer les différentiels de taux appropriés entre les différents risques. Ces facteurs sont généralement multiplicatifs par rapport au taux de base et sont calculés en comparant les sinistres attendus relativement à un risque de base aux sinistres attendus pour la caractéristique d'exposition évaluée. Traditionnellement, l'information sur les sinistres historiques peut être utilisée pour calculer ces différentiels attendus, mais comme nous l'avons dit précédemment pour l'expérience des sinistres, il vaut mieux utiliser un modèle pour les sinistres catastrophiques attendus, et donc pour les différentiels de taux.

Les facteurs de relativité spécifiques à intégrer varient selon la nature du plan de tarification final en cours d'élaboration, mais, de façon générale, ils comprennent les types de facteurs suivants aux fins de la tarification des biens :

1. Facteur d'exposition : Sert à ajuster le taux moyen pour refléter la différente base d'exposition entre la police évaluée et la police moyenne.
2. Relativité de territoire : Sert à ajuster le taux moyen en fonction du niveau attendu des sinistres dans le territoire auquel appartient la police évaluée.
3. Facteurs de relativité de police : Servent à ajuster le taux moyen en fonction du risque relatif des différents attributs de la police, comme les limites excédentaires, les franchises, etc.
4. Facteurs pour les caractéristiques du bâtiment : Servent à ajuster le taux moyen en fonction du risque relatif des différentes caractéristiques du bâtiment, comme le type de construction, l'affectation, l'année de construction, les caractéristiques d'atténuation, etc.

On trouvera de plus amples informations sur ce processus à la section 5.2 ci-dessous, qui décrit une méthode qui va plus loin que la modélisation des sinistres catastrophiques d'un portefeuille et qui vise à éliminer tout biais inhérent aux données d'exposition du portefeuille.

5.1.6 Rebalancement du taux moyen du portefeuille

Jusqu'ici, nous avons obtenu un taux moyen des expositions du portefeuille ainsi que des facteurs de relativité servant à ajuster ce taux moyen. L'étape suivante consiste à calculer le taux pour chaque police individuelle du portefeuille et à rebalancer ces taux pour assurer le maintien du taux moyen du portefeuille¹².

Le taux de chaque police est déterminé en multipliant le taux moyen par tous les facteurs de relativité pertinents pour cette police. Nous obtenons ainsi le taux qui sera exigé pour chaque police individuelle du portefeuille. La moyenne de ces taux est ensuite déterminée (le taux moyen calculé) et comparée au taux moyen initial. Le ratio des deux valeurs est ensuite appliqué au taux moyen initial pour calculer le taux de base utilisé pour déterminer le taux de la police.

$$\text{Taux de base final} = \text{Taux moyen initial} * \left(\frac{\text{Taux moyen initial}}{\text{Taux moyen calculé}} \right)$$

¹² (Werner et Modlin, 2009), chapitre 14.

Ensuite, les taux des polices individuelles sont calculés de nouveau en multipliant le taux de base final par les facteurs de relativité pour chaque police, et la moyenne de ces taux donne le taux moyen initial. Cette façon de faire permet de maintenir la valeur des sinistres attendus globaux du portefeuille après l'intégration de tous les facteurs de relativité.

5.2 Utilisation de données d'exposition théoriques

Les sinistres modélisés pour le portefeuille réel sont très utiles pour obtenir une vue à long terme des sinistres moyens, mais les modèles peuvent être encore plus utiles dans leur capacité d'éliminer tout biais d'exposition dans le calcul des facteurs de relativité, lorsqu'ils utilisent un ensemble hypothétique de polices que nous désignons sous le nom de données d'exposition théoriques. Les modèles de catastrophes peuvent analyser tous les enregistrements de données sur les biens pour lesquels suffisamment d'informations sont fournies au sujet de la localisation, des attributs de construction et des valeurs des biens. Il n'est pas nécessaire que l'enregistrement soit identifiable comme une construction existant réellement. Un ensemble de données théoriques se compose de biens hypothétiques comportant un ensemble uniforme de caractéristiques de base, qui peuvent être reproduites avec certaines variables modifiées pour évaluer leur impact. Le principal avantage de cette approche est la capacité de prendre en compte toutes les régions géographiques et tous les types de construction à analyser sans qu'il y ait de lacunes ou de concentrations dans certains types communs de construction.

Cette approche peut être utilisée pour déterminer les définitions des territoires et les facteurs de relativité pour la tarification. Les particularités de chacun de ces cas d'utilisation sont exposées ci-après. Il est à noter que lorsqu'un modèle est utilisé à cette fin, il faut vérifier si le modèle lui-même n'a pas de biais et qu'il reproduit effectivement l'impact des critères de sélection utilisés pour répartir les risques.

5.2.1 Analyse par territoires

Le but d'établir des territoires pour un plan de tarification est de regrouper les régions géographiques qui présentent un potentiel de sinistre semblable. Cela est particulièrement important dans le cas des risques de catastrophe, pour lesquels le potentiel de sinistre est fortement corrélé géographiquement. L'utilisation des données historiques sur les sinistres dans le cadre de ce processus risque de fausser sensiblement les attentes à l'égard des sinistres, d'augmenter les relativités dans les régions qui ont récemment enregistré des catastrophes, et de réduire considérablement les relativités dans les autres régions. Par conséquent, la prise en compte des estimations modélisées des sinistres dans les relativités de territoire offre une vue à long terme plus stable.

Toutefois, il n'est pas rare de constater des différences importantes dans la composition du portefeuille d'assurance lorsque l'on compare les zones plus sujettes aux catastrophes aux zones moins risquées. Par exemple, le bâtiment moyen dans une région sujette aux inondations est construit de manière à résister aux inondations, tandis que les bâtiments dans les zones moins exposées ne le sont pas. La plupart des modèles de catastrophe devraient tenir compte des différents types de construction et des caractéristiques d'atténuation, et refléter les différentes attentes en matière de sinistres selon les caractéristiques des bâtiments. Il en va de même pour les différences dans les conditions d'assurance moyennes. Par exemple, il est courant d'avoir une franchise distincte (plus élevée) ou un montant de garantie plus bas pour un risque situé dans la zone à risque d'inondation selon une périodicité de 100 ans, et les estimations des sinistres produites par le modèle pour un portefeuille dans cette zone refléteraient cela. Si l'on devait définir les territoires uniquement en se fondant sur les estimations des sinistres modélisées pour le portefeuille réel, on atténuerait la relativité de territoire avec ces facteurs d'atténuation des sinistres. Ce problème est exacerbé si des facteurs de relativité distincts sont appliqués dans le plan de tarification pour prendre en compte les effets de ces mesures d'atténuation.

Pour réduire le biais inhérent à la composition du portefeuille réel, il est possible de créer un portefeuille théorique qui place un enregistrement hypothétique dans chaque lieu géographique du portefeuille réel assuré. Les enregistrements hypothétiques de lieu ont les mêmes valeurs de remplacement, les mêmes conditions d'assurance et les mêmes caractéristiques de bâtiment (définies comme étant le « risque de base »), de sorte que la seule variabilité prise en compte dans les résultats de la modélisation des sinistres est attribuable aux différences de risque dans les régions examinées.

En maintenant la distribution géographique du portefeuille existant, il est certain que le plan de tarification tiendra compte des régions où les polices sont souscrites et cela produira de meilleures estimations dans les régions où la concentration des risques est la plus forte. En utilisant le modèle pour ce processus, on est en mesure d'éliminer entièrement les biais d'exposition dans le

modèle en plus d'éliminer les lacunes dans l'expérience historique des sinistres du fait de la faible fréquence des événements catastrophiques.

Le modèle de catastrophe produit un sinistre annuel moyen pour chaque enregistrement de lieu. Il est ensuite possible de procéder à des regroupements géographiques des enregistrements de lieu afin de réduire au minimum les erreurs dans les définitions des territoires. Traditionnellement, cette opération consiste à tirer parti de combinaisons d'informations géographiques comme les limites géopolitiques (codes postaux, régions de tri d'acheminement (RTA), limites municipales ou provinces), les points de repère géographiques (rivières, routes, lacs, etc.) ou les zones présentant un risque particulier (zones sujettes aux inondations, conditions du sol, distance de la côte).

Au moment de regrouper les lieux en définitions des territoires, il importe de tenir compte de la crédibilité des données sur les sinistres dans chaque territoire. Il s'agit de déterminer si chaque territoire possède suffisamment d'enregistrements de sinistres pour refléter adéquatement les sinistres annuels moyens prévus dans le territoire. L'utilisation d'un modèle de catastrophe aide davantage à cet égard en remplaçant une période historique relativement courte par des dizaines, voire des centaines de milliers d'années simulées d'activité de sinistre. Il est néanmoins préférable de veiller à ce que la définition de chaque territoire contienne plusieurs enregistrements de lieu afin que les conditions de risque en un seul point géographique n'aient pas trop d'influence sur les taux qui seront exigés pour les polices futures dans ce territoire.

Des tests statistiques peuvent être appliqués aux relativités moyennes de ces regroupements de territoires pour déterminer la pertinence des définitions de territoire. La statistique F peut être utilisée à cette fin. Elle peut être interprétée comme le ratio de la variance entre les classes à la variance à l'intérieur des classes. La réciproque de ce ratio est le ratio de la variance à l'intérieur des groupes à la variance entre les groupes. Cette dernière statistique est une mesure couramment utilisée dans l'évaluation des territoires et d'autres systèmes de classification et elle indique que les définitions de territoire sont correctement appliquées lorsque la valeur est aussi près que possible de zéro pour les définitions de territoire. L'erreur moyenne absolue et les coefficients de corrélation sont des mesures supplémentaires qui peuvent être utiles pour évaluer l'exactitude d'autres configurations de territoire.

5.2.2 Analyse des relativités

Le processus d'établissement des facteurs de relativité vise à isoler les différences dans le risque relatif des différentes caractéristiques des polices. Les facteurs eux-mêmes sont multipliés par le risque de base pour déterminer le taux final de chaque police. Comme nous l'avons vu, les facteurs suivants peuvent tous faire partie d'un manuel de tarification standard :

1. Facteur d'exposition : Sert à ajuster le taux moyen pour refléter la différence de base d'exposition entre la police évaluée et la police moyenne.
2. Relativité de territoire : Sert à ajuster le taux moyen en fonction du niveau attendu des sinistres dans le territoire auquel appartient la police évaluée.
3. Facteurs de relativité de police : Servent à ajuster le taux moyen en fonction du risque relatif des différents attributs de la police, comme les limites excédentaires, les franchises, etc.
4. Facteurs pour les caractéristiques du bâtiment : Servent à ajuster le taux moyen en fonction du risque relatif des différentes caractéristiques du bâtiment, comme le type de construction, l'affectation, l'année de construction, les caractéristiques d'atténuation, etc.

Les facteurs d'exposition servent simplement à rajuster à la hausse ou à la baisse le taux de base en fonction du montant de l'exposition dans la police considérée, et les facteurs de relativité de territoire font l'objet de la section 5.2.1 ci-dessus. Nous traiterons ici des facteurs de relativité de police et des facteurs pour les caractéristiques du bâtiment, en utilisant une procédure semblable pour ces deux catégories. Pour simplifier les choses, les deux catégories seront appelées ci-après « facteurs de relativité ».

Dans le processus d'établissement des relativités de territoire, il est nécessaire d'éliminer tout biais inhérent aux attributs des biens et des polices du portefeuille afin d'isoler les différences géographiques dans les risques. Pour déterminer les facteurs de relativité appropriés, c'est le contraire qui est vrai – il est important d'éliminer tout biais géographique dans le portefeuille pour s'assurer que les différentiels entre deux valeurs d'attribut reflètent la différence dans le risque uniquement en raison de ces valeurs d'attribut, et non pas les effets résiduels de l'exposition des lieux à différents niveaux de risque.

Par exemple, si l'on examinait un portefeuille comportant à la fois des expositions côtières et des expositions à l'intérieur des terres au risque d'ouragan, on constaterait une concentration plus élevée d'habitations avec volets anticycloniques dans les régions côtières et une concentration plus faible dans les régions à l'intérieur des terres. Si l'on comparait simplement le coût moyen des sinistres des polices habitation avec volets anticycloniques avec celui des polices qui n'en ont pas, on constaterait probablement que les polices habitation avec volets anticycloniques enregistrent des sinistres moyens plus élevés que celles sans volets anticycloniques, même si ces derniers servent à réduire les dommages causés par les ouragans. Bien que cet effet puisse être quelque peu atténué en isolant le calcul des différentiels dans chaque territoire, il existerait encore divers niveaux de risque dans chaque territoire, ce qui fausserait le calcul de la relativité pour un attribut donné.

De même qu'il est possible d'isoler les facteurs de territoire en modélisant un portefeuille théorique avec des caractéristiques de bâtiments et de polices constantes, il est également possible d'isoler les facteurs de relativité en plaçant plusieurs enregistrements de police théoriques en chaque lieu géographique au sein du portefeuille assuré, et de modifier systématiquement les caractéristiques de bâtiments et de polices définies pour chaque enregistrement de police. Ainsi, le modèle estime la même intensité pour tous les enregistrements de lieu, de sorte que tout différentiel dans les sinistres moyens reflète uniquement les différences dans les caractéristiques des bâtiments et des polices.

Lorsque l'on sait que les diverses caractéristiques de bâtiments et de polices sont indépendantes les unes des autres dans un modèle de catastrophe, il est possible d'évaluer les facteurs de relativité pour ces caractéristiques de façon isolée. Les relativités de franchise pourraient être considérées comme indépendantes des facteurs de construction par exemple. Toutefois, dans bien des cas, le modèle comporte des dépendances voulues qui nécessitent que les différentes caractéristiques soient prises en compte en combinaison. Par exemple, un modèle d'inondation peut faire des hypothèses relatives à la hauteur du rez-de-chaussée d'une construction en fonction du type de fondation de cette construction. Si l'on appliquait un crédit parce que le rez-de-chaussée d'une construction est surélevé et un crédit distinct parce que la fondation est sur pilotis (ce qui nécessite habituellement un rez-de-chaussée surélevé), on compterait effectivement deux fois l'impact de cette élévation si l'on considérait les deux en vase clos. Dans ces cas, il est nécessaire de tenir compte de toutes les combinaisons possibles des différentes conditions du bâtiment ou d'assurance qui sont corrélées.

L'actuaire doit chercher à bien comprendre ces interactions dans le modèle afin de bien structurer le portefeuille théorique. Ce faisant, et en tenant compte de tous les liens de dépendance entre les caractéristiques des bâtiments et des polices et en effectuant l'analyse au moyen d'un modèle de catastrophe, il élimine de fait la nécessité d'appliquer une procédure de minimisation du biais, qui, autrement, serait nécessaire au moment d'utiliser les données historiques pour déterminer les relativités. Il s'agit d'un avantage important pour le plan de tarification final, car toute procédure de minimisation du biais réduit le biais, tandis que l'utilisation du modèle dans ce contexte peut l'éliminer complètement.

En maintenant la distribution géographique du portefeuille existant, il est certain que le plan de tarification tiendra compte des régions où les polices sont souscrites et cela produira de meilleures estimations dans les régions où la concentration des risques est la plus forte. Toutefois, lorsqu'on examine un large éventail de caractéristiques de polices et de bâtiments, et plus particulièrement lorsque bon nombre de ces caractéristiques sont interdépendantes dans le modèle, la modélisation de toutes les combinaisons possibles de caractéristiques d'exposition à chaque lieu géographique au sein d'un vaste portefeuille d'assurance créerait un volume de données difficile à calculer si chaque lieu du portefeuille de l'assureur était inclus. Dans ces cas, il serait approprié de réduire le nombre de lieux géographiques pour qu'il soit plus facile à analyser. Cela doit être fait en tenant compte de la distribution du portefeuille prévu et de l'éventail des niveaux de risque dans la région à l'étude.

À l'instar de l'analyse par territoires, il importe d'assurer la crédibilité des estimations des sinistres, ce qui peut être fait en veillant à ce que les lieux géographiques relatifs au portefeuille théorique soient suffisamment représentatifs des territoires dans lesquels les facteurs de relativité sont calculés, tel que mentionné précédemment.

En raison de l'existence de liens non linéaires entre le risque et les dommages, il est possible, dans bien des cas, que des facteurs de relativité différents soient calculés pour différentes régions où le risque varie considérablement. On peut encore utiliser des tests statistiques pour déterminer si les regroupements de facteurs de relativité sont appropriés. La réciproque de la statistique F est une mesure couramment utilisée pour évaluer les facteurs de relativité et les autres systèmes de classification, et elle indique que les facteurs de relativité sont correctement structurés lorsque la valeur est aussi près que possible de zéro.

5.3 Considérations spécifiques au risque d'inondation

La plupart des méthodes décrites précédemment s'appliquent à tous les risques de catastrophe, mais certaines choses doivent être prises en considération lorsqu'on évalue le risque d'inondation en particulier.

5.3.1 Lignes directrices sur la souscription

Un grand nombre des biens les plus à risque d'inondation seront sujets à des inondations très fréquentes, en raison de leur situation dans une plaine inondable avec faible périodicité. Il est donc particulièrement important de détecter les polices les plus à risque pendant le processus de souscription. Par exemple, selon le National Flood Insurance Program, aux États-Unis, 30 % des demandes d'indemnisation qu'il reçoit concernent moins d'un pour cent de ses polices¹³. En raison de cette concentration du risque dans un ensemble relativement petit de biens, il est utile d'avoir divers critères simples dans le processus de souscription pour éviter l'antisélection.

Il existe de nombreuses mesures relativement simples qui peuvent être utiles à la souscription, en particulier le risque d'inondation. Les critères de sélection propres au risque d'inondation comprennent les caractéristiques suivantes :

1. Zones à risque d'inondation avec une périodicité;
2. Profondeur estimée des inondations dans les zones à risque d'inondation avec une périodicité;
3. Proximité d'une zone définie à risque d'inondation;
4. Élévation;
5. Élévation relative;
6. Pente de la zone environnante;
7. Distance par rapport aux plans d'eau;
8. Moyennes historiques des précipitations;
9. Mesures de protection contre les inondations (digues, déversoirs, etc.) dans la zone;
10. Atténuation des dommages que les inondations font subir à la construction.

Ces critères peuvent être utilisés en combinaison avec un plan de tarification bien structuré pour assurer la coordination de la souscription dans l'ensemble du portefeuille. La souscription joue un rôle très important dans la rentabilité d'un portefeuille d'assurance inondation.

5.3.2 Définitions des territoires

Il est courant, surtout en ce qui concerne les inondations, de constater de grandes variations du risque à l'intérieur de très petites zones, en raison de la nature très localisée du risque et de sa sensibilité aux petits changements de l'élévation et de la proximité des plans d'eau. Pour cette raison, nombre des limites géographiques traditionnellement utilisées dans la tarification s'appliquent difficilement au risque d'inondation, car elles recouvrent des régions géographiques plus vastes pouvant contenir un large éventail de risques d'inondation. Par conséquent, il peut être difficile d'utiliser les limites parfaitement contiguës d'un territoire.

Pour contourner cet obstacle, l'adoption de territoires non contigus présente d'importants avantages. Plutôt que de regrouper les lieux modélisés à l'intérieur de limites contiguës, cette méthode consiste à les regrouper en fonction de la similarité des coûts des sinistres. Les territoires sont ainsi définis par des ensembles de lieux ayant un profil de risque très similaire, plutôt que par des limites géographiques contiguës. Cela a pour effet de réduire considérablement la variation des sinistres estimés à l'intérieur d'un territoire. De nos jours, grâce à la grande puissance de calcul de nos ordinateurs, il est beaucoup plus facile de répondre aux besoins en calcul liés à la définition très détaillée des territoires.

À la section 6 plus bas, nous démontrerons la faisabilité de cette méthode qui ne fait pas appel à la contiguïté des limites pour définir les territoires, et l'approche plus traditionnelle décrite à la section 5.2.1 plus haut.

¹³ (Smith, 2017)

Quelle que soit la méthode utilisée pour définir les territoires, un géocodage précis est essentiel pour que les taux reflètent bien le risque que représente un bien donné. En raison de la très grande sensibilité du risque d'inondation aux lieux géographiques, de petites erreurs de géocodage peuvent avoir une incidence importante sur l'estimation du risque auquel un bien est exposé.

5.3.3 Variables de tarification

En règle générale, les variables fondamentales de tarification des risques catastrophiques sont les mêmes que celles des autres risques auxquels s'exposent les propriétaires d'habitations, à savoir le type de construction, l'affectation, les franchises, mais, certains aspects sont spécifiques au risque d'inondation.

Vu que presque tous les dommages causés par les inondations surviennent dans les sous-sols et au rez-de-chaussée d'une construction, les caractéristiques relatives aux sous-sols et à l'élévation des bâtiments ou à d'autres composantes importantes peuvent avoir une forte incidence sur les estimations des sinistres. Par exemple :

1. La hauteur du rez-de-chaussée par rapport au niveau du sol;
2. L'élévation du matériel de service (le système électrique et le système de chauffage, de ventilation et de climatisation, par exemple);
3. Le type de fondation;
4. L'aménagement du sous-sol;
5. L'étage considéré.

Section 6 Démonstration de faisabilité

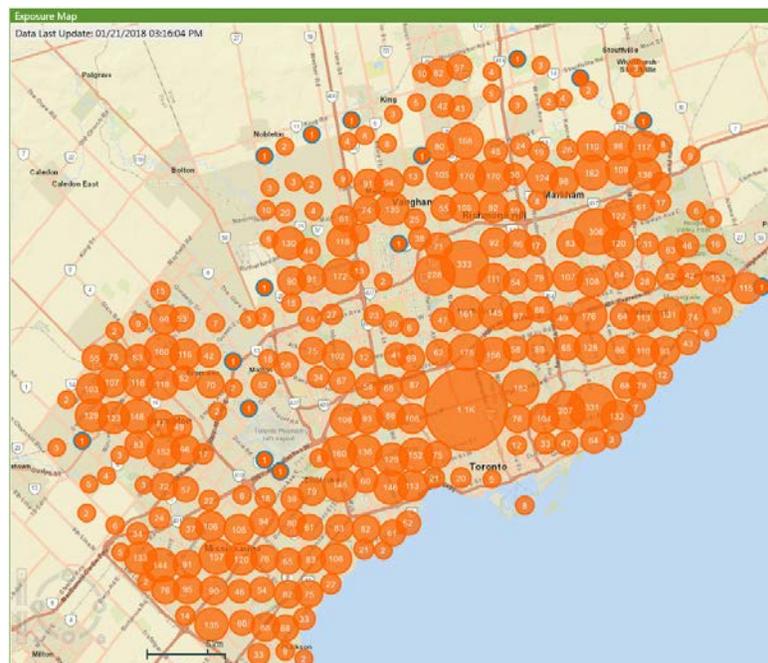
6.1 Vue d'ensemble de la société d'assurance examinée à titre d'exemple

Afin de démontrer la faisabilité de la méthode décrite dans les présentes, nous examinerons en détail, dans les deux sections qui suivent, une société d'assurance fictive.

6.1.1 Exemple de portefeuille de la société

À titre d'exemple, la société possède un portefeuille d'environ 20 000 polices d'assurance habitation dans la région du Grand Toronto, comme le montre le graphique 1.

Graphique 1 : Répartition géographique des polices de la société



Cette société ne représente pas un assureur réel, quoique la distribution des polices, les valeurs de remplacement, les types de construction et les franchises soient typiques de ceux d'un assureur dans cette région.

La société offre un avenant contre les inondations à ses polices existantes et elle s'emploie actuellement à fixer le tarif de cet avenant, lequel couvre les dommages causés par l'eau de surface et le refoulement des égouts. Dans sa forme standard, l'avenant comporte les mêmes franchises et les mêmes montants de garantie que la police de base à laquelle il est rattaché. En raison du très grand risque d'inondation dans certains lieux, l'avenant n'est offert qu'avec les polices qui tombent en dehors de la plaine inondable avec périodicité de 100 ans.

Le reste du portefeuille de polices admissibles se compose de 19 206 polices individuelles des propriétaires-occupants. Ces polices ont une valeur moyenne de 350 843 \$ le bâtiment. Toutes les polices sont souscrites pour un montant de garantie égal à 100 % de la valeur de remplacement. La société a décidé de prolonger cet avenant en utilisant les montants de garantie et de franchise existants. Les conditions de la police standard sont présentées au tableau 1.

Tableau 1 : Police tous les risques standards de la société

Conditions	Valeur
Garantie des bâtiments (couverture A)	Valeur de remplacement du bâtiment principal
Garantie des dépendances (couverture B)	5 % de la couverture A
Biens meubles (couverture C)	70 % de la couverture A
Frais de subsistance supplémentaires (couverture D)	20 % de la couverture A
Valeur estimée des frais de subsistance supplémentaires	175 \$ par jour
Options de franchise	500 \$, 750 \$ ou 1 000 \$, applicable au total des sinistres des couvertures A, B et C

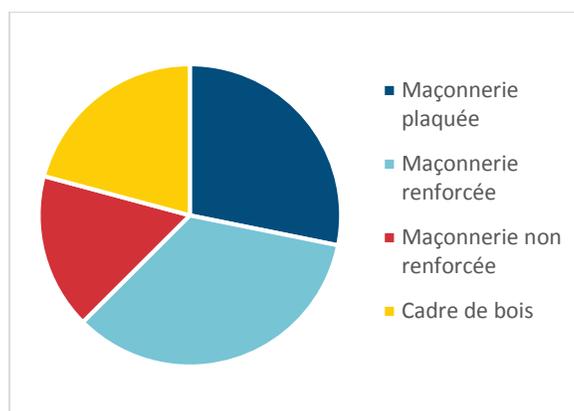
Les polices sont offertes par tranches de 1 000 \$ de garantie de la couverture A. La distribution des montants de garantie en place figure au tableau 2.

Tableau 2 : Répartition des montants de garantie de la couverture A

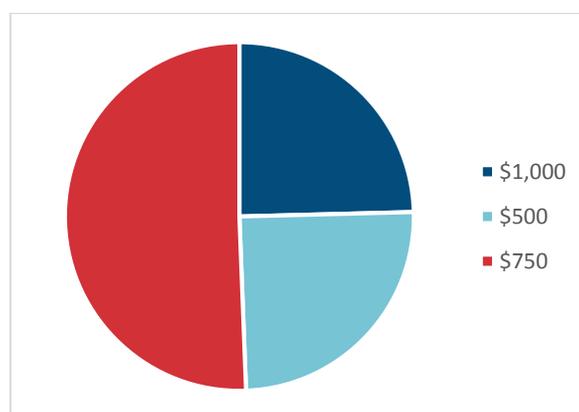
Garantie de la couverture A	Nombre de polices	% du total
200 000 \$ ou moins	56	0,3 %
201 000 \$ à 300 000 \$	6 918	36,0 %
301 000 \$ à 400 000 \$	7 797	40,6 %
401 000 \$ à 500 000 \$	2 773	14,4 %
501 000 \$ à 600 000 \$	1 084	5,6 %
601 000 \$ à 700 000 \$	362	1,9 %
701 000 \$ à 800 000 \$	132	0,7 %
801 000 \$ à 900 000 \$	41	0,2 %
901 000 \$ à 1 000 000 \$	30	0,2 %
Supérieur à 1 000 000 \$	13	0,1 %

Le portefeuille se compose de plusieurs types de construction et de valeurs de franchise (voir graphiques 2 et 3 ci-dessous).

Graphique 2 : Répartition des types de construction de la société



Graphique 3 : Répartition des valeurs de franchise de la société



La société a acheté une couverture de réassurance en excédent de sinistres avec une tranche unique de 35 M\$ en excédent d'une rétention de 35 M\$. Comme l'indique le tableau 3, cela correspond à peu près à des périodicités de 50 à 500 ans. Il s'agit d'une sélection assez prudente en raison du coût relativement faible de la réassurance à l'extérieur de la zone inondable.

6.1.2 Estimations des sinistres de la société

Les estimations des sinistres du portefeuille de la société, obtenues d'un modèle d'inondations catastrophiques, figurent au tableau 3.

Tableau 3 : Estimations des sinistres selon le modèle

Mesure des sinistres	Direct (\$)	Cession en réassurance (\$)	Montant net de réassurance (\$)
Sinistre annuel moyen	5 435 547	258 853	5 176 694
Écart-type	9 027 140	2 402 193	7 616 193
Périodicité de 10 ans	14 616 732	0	14 616 732
Périodicité de 50 ans	33 906 367	0	33 908 367
Périodicité de 100 ans	45 448 618	10 448 618	35 000 000
Périodicité de 500 ans	71 831 292	35 000 000	36 831 292
Périodicité de 1 000 ans	81 594 727	35 000 000	46 594 727

La méthode principale du document repose sur l'hypothèse que l'avenant d'assurance contre les inondations est offert pour la première fois, de sorte qu'il n'y a pas de données historiques réelles permettant d'établir des comparaisons. Toutefois, pour illustrer les avantages de l'utilisation d'un modèle de catastrophe au lieu des statistiques historiques des sinistres, nous avons supposé que le portefeuille de la société avait enregistré les sinistres indiqués au tableau 4.

Tableau 4 : Statistiques historiques des sinistres

Année	Nombre de sinistres	Sinistres directs (\$)
2003	7	375 487
2004	103	8 169 837
2005	97	8 150 913
2006	49	4 103 903
2007	29	1 952 638
2008	150	13 069 088
2009	33	2 588 974
2010	10	514 923
2011	74	5 585 134
2012	32	1 991 075
2013	15	933 819
2014	129	9 634 851
2015	2	340 155
2016	76	5 026 550
2017	390	33 756 400
Moyenne	79,9	6 412 916

Puisque les sinistres directs n'ont jamais excédé la rétention du traité de réassurance, aucun des sinistres n'a été cédé en réassurance.

6.2 Mise en application du cadre de tarification proposé

Les sections qui suivent concernent la méthode décrite à la section 5 ci-dessus et la société fictive. Il convient de souligner que les résultats présentés ici ne visent qu'à démontrer la faisabilité de la méthode et ne reflètent pas l'opinion des auteurs, de leurs sociétés respectives ou de l'un ou l'autre des organismes commanditaires quant aux sinistres attendus découlant du risque d'inondation. Ces résultats ne sont représentatifs d'aucune société d'assurance et ne doivent être utilisés qu'à titre indicatif.

6.2.1 Taux moyen de l'assurance directe

Comme nous l'avons vu à la section 5.1.4 ci-dessus, la formule du taux moyen avant la prise en compte de la réassurance s'établit comme suit :

$$\text{Taux moyen} = \frac{[(\text{Sinistres moyens}) * (1 + \text{Tendance}) * (1 + \text{Frais de règlement})] + (\text{Charge de risque}) + (\text{Dépenses fixes})}{\{1 - \text{Commissions} - \text{Taxes et impôts} - \text{Profit} + [(\text{Rendement des placements}) * (1 + (S/P))]\}}$$

La tendance, les frais de règlement, les dépenses fixes, les commissions, les taxes et impôts, le profit, le rendement des placements et le ratio P/S ont été tous choisis pour représenter la société fictive, car ces facteurs ne sont pas propres à la tarification des risques de catastrophe comme les inondations, et le calcul des valeurs réelles dépasse le cadre de l'étude. Les données d'entrée requises sont donc les sinistres moyens et la charge de risque.

Le calcul de la charge de risque fait l'objet de la section 5.2.1 ci-dessus. Les formules suivantes sont utilisées :

$$\text{Charge moyenne de risque} = \frac{R * \sigma}{\text{Exposition}}$$

$$R = \frac{y * Z}{1 + y}$$

Les calculs relatifs à la société fictive sont présentés au tableau 5 ci-dessous. L'unité d'exposition utilisée pour la méthode de tarification est l'habitation-année.

Tableau 5 : Calcul de la charge de risque directe de la société fictive

N°	Composante	Valeur	Commentaire
(1)	Rendement attendu (y)	10 %	Choisi
(2)	Centile	95 ^e	Choisi
(3)	Point de la distribution normale (z)	1,645	Obtenu de (2)
(4)	Facteur de réticence (R)	0,14955	= (1) * (3) / [1 + (1)]
(5)	Facteur de réticence choisi	0,15	Choisi
(6)	Sinistre annuel moyen	5 435 547	Obtenu du modèle
(7)	Écart-type	9 027 140	Obtenu du modèle
(8)	Charge de risque	1 354 071	= (4) * (7)
(9)	Années-habitation	19 206	Obtenu du portefeuille fictif
(10)	Prime pure	283,01	= (6) / (9)
(11)	Charge moyenne de risque	70,50	= (8) / (9)

Le reste des valeurs requises pour calculer le taux moyen direct figurent dans le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6 : Calcul du taux moyen direct de la société fictive

N°	Composante	Valeur	Commentaire
(1)	Commissions	20 %	Choisi
(2)	Impôt sur les primes	4 %	Choisi
(3)	Dépenses fixes	25 \$	Choisi
(4)	Tendance	2 %	Choisi
(5)	Durée de la tendance (en années)	2,5	Choisi
(6)	Rendement des placements	2 %	Choisi
(7)	Ratio des primes excédentes	2:1	Choisi
(8)	Provision pour bénéfices techniques	5 %	Choisi
(9)	Frais de règlement	10 %	Choisi
(10)	Sinistre annuel moyen direct	5 435 490	Obtenu du modèle
(11)	Années-habitation	19 206	Obtenu du portefeuille fictif
(12)	Prime pure des sinistres directs	283,01	= (10) / (11)
(13)	Prime pure des sinistres directs, affectée d'une tendance	297,37	= (12) * [1 + (4)] ^ (5)
(14)	Prime pure des sinistres et frais de règlement directs	327,11	= (13) * [1 + (9)]
(15)	Charge de risque	70,50	Voir le tableau 5

L'expression finale de la formule du taux moyen est donc :

$$Taux\ moyen = \frac{[(283,01) * (1,02^{2,5}) * (1,1)] + (70,5) + (25)}{\{1 - 0,2 - 0,04 - 0,05 + [(0,02) * (1 + (1/2))]\}} = \frac{(327,11) + (70,5) + (25)}{(0,74)} = 571,10 \$$$

6.2.2 Taux moyen avec réassurance

Nous l'avons vu à la section 5.1.4 ci-dessus, la formule du taux moyen net de réassurance est donnée par :

$$Taux\ moyen = \frac{[(Sinistres\ nets\ moyens) * (1 + Tendance) * (1 + Frais\ de\ règlement)] + (Charge\ nette\ de\ risque) + (Dépenses\ fixes) + (Coût\ de\ réassurance)}{\{1 - Commissions - Taxes\ et\ impôts - Profit + [(Rendement\ des\ placements) * (1 + (1/PS))]\}}$$

Pour les besoins de l'exercice, nous supposons que le coût de la réassurance s'obtient par la même méthode que celle décrite pour la société d'assurance principale. En réalité, ce coût est fonction du prix réel sur le marché de la réassurance.

Puisque le profil de risque est modifié par l'achat de réassurance, la charge de risque doit l'être aussi. Ces calculs sont indiqués au tableau 7 ci-dessous.

Tableau 7 : Calcul de la charge de risque avec réassurance

N°	Composante	Direct	Cession en réassurance	Net de réassurance	Commentaire
(1)	Rendement attendu (y)	10 %	15 %	10 %	Choisi
(2)	Centile	95 ^e	99 ^e	95 ^e	Choisi
(3)	Point de la distribution normale (z)	1,645	2,330	1,645	Obtenu de (2)
(4)	Facteur de réticence (R)	0,14955	0,30391	0,14955	= (1) * (3) / [1 + (1)]
(5)	Facteur de réticence choisi	0,15	0,30	0,15	Choisi
(6)	Sinistre annuel moyen	5 435 547	258 853	5 176 694	Obtenu du modèle
(7)	Écart-type	9 027 140	2 402 193	7 616 193	Obtenu du modèle
(8)	Charge de risque	1 354 071	720 658	1 142 429	= (4) * (7)
(9)	Années-habitation	19 206	19 206	19 206	Obtenu du portefeuille fictif
(10)	Prime pure	283,01	13,48	269,54	= (6) / (9)
(11)	Charge moyenne de risque	70,50	37,52	59,48	= (8) / (9)

Le facteur de réticence du réassureur repose sur l'hypothèse d'un rendement attendu et d'un niveau de confiance supérieurs afin de tenir compte du risque global accru de réassurance. Si nous utilisons la même méthode que ci-dessus, le coût de la réassurance s'obtient par la formule :

Taux moyen de réassurance

$$= \frac{[(\text{Sinistres moyens cédés}) * (1 + \text{Tendance}) * (1 + \text{Frais de règlement})] + (\text{Charge de risque cédée}) + (\text{Dépenses fixes})}{\{1 - \text{Commissions} - \text{Taxes et impôts} - \text{Profit} + [(\text{Rendement des investissements}) * (1 + (1/PS))]\}}$$

Pour les besoins du présent document, nous avons supposé, pour simplifier les choses, que le réassureur constituerait les mêmes provisions pour dépenses et pour profit que l'assureur, mais en réalité, ces valeurs seraient différentes. Le tableau 8 explicite le calcul combinant le coût de la réassurance et le taux moyen net de la réassurance.

Tableau 8 : Calcul du taux moyen net de réassurance de la société fictive

N°	Composante	Valeur	Commentaire
(1)	Commissions	20 %	Choisi
(2)	Impôt sur les primes	4 %	Choisi
(3)	Dépenses fixes	25 \$	Choisi
(4)	Tendance	2 %	Choisi
(5)	Durée de la tendance (en années)	2,5	Choisi
(6)	Rendement des placements	2 %	Choisi
(7)	Ratio des primes excédentes	2:1	Choisi
(8)	Provision pour bénéfices techniques	5 %	Choisi
(9)	Frais de règlement	10 %	Choisi
(10)	Sinistre annuel moyen direct	5 435 490	Obtenu du modèle
(11)	Sinistre annuel moyen cédé	258 853	Obtenu du modèle
(12)	Années-habitation	19 206	Obtenu du portefeuille fictif
(13)	Prime pure (sinistres directs)	283,01	= (10) / (12)
(14)	Prime pure (sinistres cédés)	13,48	= (11) / (12)
(15)	Prime pure des sinistres directs, affectée d'une tendance	297,37	= (13) * [1+(4)] ^ (5)

(16)	Prime pure des sinistres cédés, affectée d'une tendance	14,16	= (14) * [1 + (4)] ^ (5)
(17)	Prime pure des sinistres et frais de règlement directs, affectée d'une tendance	327,11	= (15) * [1 + (8)]
(18)	Prime pure des sinistres et frais de règlement cédés, affectée d'une tendance	15,58	= (16) * [1 + (8)]
(19)	Prime pure des sinistres et frais de règlement nets, affectée d'une tendance	311,53	= (17) – (18)
(20)	Charge de risque de réassurance	37,52	Voir le tableau 7
(21)	Charge nette de risque	59,48	Voir le tableau 7

En intégrant ces valeurs dans la formule précédente, nous obtenons :

$$\text{Taux moyen de réassurance} = \frac{[(13,48) * (1,02^{2,5}) * (1,1)] + (37,52) + (25)}{\{1 - 0,2 - 0,04 - 0,05 + [(0,02) * (1 + (1/2))]\}} = 105,54$$

Enfin, en insérant cette valeur dans la formule du taux moyen net de réassurance :

$$\text{Taux moyen net de réassurance} = \frac{[311,53] + (59,48) + (105,54) + (25)}{\{1 - 0,2 - 0,04 - 0,05 + [(0,02) * (1 + (1/2))]\}} = 677,78$$

6.2.3 Relativités de territoire (méthode traditionnelle)

Après l'utilisation des résultats modélisés du portefeuille assuré réel pour déterminer le taux moyen, la suite du processus consiste à utiliser un portefeuille d'exposition théorique, tel qu'il a été décrit à la section 5.2 ci-dessus, pour définir les territoires et leurs facteurs de relativité connexes. Le portefeuille théorique a été créé en utilisant les lieux géographiques des risques du portefeuille réel de la société fictive. Tous les lieux géographiques avaient les mêmes valeurs de remplacement, les mêmes caractéristiques de bâtiment et les mêmes conditions de police. Cela fait en sorte que toute variation du coût des sinistres reflète uniquement les différences dans la distribution géographique du risque.

Ce portefeuille théorique a ensuite été saisi dans le logiciel de modélisation des catastrophes pour produire le taux global, et le sinistre annuel moyen pour chaque lieu a été généré. Ensuite, on a attribué à chaque lieu du portefeuille un certain nombre de mesures simples et courantes du risque d'inondation. En voici les valeurs :

- Limites géopolitiques (RTA)
- Distance par rapport à la zone à risque d'inondation selon une périodicité de 100 ans, groupée selon les intervalles suivants :
 - 0 à 0,1 km;
 - 0,11 à 0,25 km;
 - 0,26 à 0,5 km;
 - Plus de 0,5 km.
- Élévation, groupée selon les intervalles suivants :
 - Moins de 600 mètres;
 - 600 à 650 mètres;
 - 650 à 700 mètres;
 - 700 à 750 mètres;
 - 750 à 800 mètres;
 - 800 à 850 mètres;
 - Plus de 850 mètres.

Les valeurs groupées ont été choisies en fonction des valeurs plus détaillées du portefeuille. Les intervalles ont été choisis de façon à éliminer une partie de la variation statistique dans les résultats détaillés.

Ce processus a donné lieu à des regroupements de lieux dans le portefeuille théorique sur la base de territoires largement contigus. Une fois les lieux regroupés de manière appropriée, la relativité appropriée pour chaque territoire est déterminée en comparant les sinistres moyens dans chaque territoire au taux moyen global, tout en tenant compte de la crédibilité.

Le critère de crédibilité utilisé est de 1 082 sinistres, soit le seuil simple de crédibilité à fluctuations limitées, et il correspond à P (probabilité d'erreur aléatoire) = 0,05 et au 90^e centile de la distribution normale. Le nombre de sinistres donnant pleine crédibilité a donc été obtenu comme suit :

$$N = \left(\frac{Z}{P}\right)^2 = \left(\frac{1,645}{0,05}\right)^2 = 1\,082$$

Puisque des estimations de sinistres modélisées sont utilisées, les nombres de réclamations soumis à ce critère de crédibilité sont les estimations modélisées des réclamations. Pour les besoins de cette étude, une réclamation est supposée lorsque les sinistres dépassent 500 \$ pour un lieu donné. Les nombres de réclamations modélisés doivent tenir compte de l'incertitude des dommages moyens associés à un lieu donné pour chaque événement simulé et sont donc représentatifs des réclamations attendues pour un risque donné sur les 10 000 années simulées d'activité.

Les seuils de pleine crédibilité sont calculés en termes du nombre attendu de réclamations. Il est courant de les convertir en expositions en les divisant par la fréquence approximative des réclamations attendues. En conséquence, le nombre d'expositions requises pour obtenir pleine crédibilité est égal à 1 082/fréquence des réclamations attendues¹⁴.

Le portefeuille de la société fictive compte 19 206 lieux. Chacun de ces lieux est modélisé 10 000 fois. Il y a au total 728 391 réclamations pour le portefeuille simulé avec le catalogue de 10 000 ans. Par conséquent, le nombre moyen de réclamations par année-habitation simulée est d'environ 38 et la fréquence des réclamations attendues est calculée comme suit :

$$\frac{38}{10\,000} = 0,0038$$

Le nombre d'expositions nécessaires à la pleine crédibilité est donc d'environ :

$$\frac{1\,082}{0,0038} = 284\,737$$

En outre, si nous appréhendons cela en termes d'intervalles de confiance autour de la fréquence et de la sévérité séparément, avec 10 000 observations ou tirages à chaque lieu, la largeur de l'intervalle de confiance de l'estimation de la fréquence est petite. La sévérité est significativement plus variable et ne peut être observée que lorsqu'un événement générateur de sinistres influe sur une exposition, ce qui représente environ 38 observations.

Lorsque le nombre de réclamations pour un groupe de territoires donné ne dépasse pas le critère de crédibilité, le sinistre moyen sur ce territoire est pondéré par la crédibilité avec la moyenne sur toute la limite géopolitique et sur toutes les variations d'élévation et de distance par rapport à la plaine inondable selon une périodicité de 100 ans. La crédibilité (Z) se définit comme suit :

$$\text{Crédibilité } (Z) = \text{MIN} \left(1; \sqrt{\frac{\text{Nombre de réclamations}}{1\,082}} \right)$$

¹⁴ (Mahler et Dean, 2001)

Le sinistre moyen pour le territoire, pondéré par la crédibilité, se définit donc ainsi :

$$\begin{aligned} & \text{Sinistre moyen du territoire, pondéré par la crédibilité} \\ &= Z * (\text{Sinistre moyen du territoire avant pondération par la crédibilité}) + (1 - Z) \\ & * (\text{Sinistre moyen RTA}) \end{aligned}$$

Les relativités de territoire qui en résultent sont ensuite comparées aux estimations de sinistres modélisées pour chaque lieu du portefeuille théorique afin de déterminer dans quelle mesure elles reflètent bien les sinistres attendus dans les groupes. Les résultats du test de régression effectué à cette fin sont inclus dans les tableaux 9 à 11. La valeur statistique F, égale à 29 283, est suffisamment grande pour que la variance à l'intérieur des territoires soit négligeable par rapport à celle entre les territoires. De plus, R , le coefficient de corrélation multiple, indique une forte corrélation entre le coût des sinistres et la répartition territoriale.

Tableau 9 : Statistiques de régression pour la définition traditionnelle des territoires avec portefeuille théorique

Statistiques de régression	
R, coefficient de corrélation multiple	0,78
R carré	0,60
R carré ajusté	0,60
Écart-type	81,29
Observations	19 206

Tableau 10 : Résultat de l'analyse de variance pour la définition traditionnelle des territoires avec portefeuille théorique

	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Signification de F
Régression	1	193 505 018	193 505 018	29 283	0
Résidu	19 204	126 901 605	6 608		
Total	19 205	320 406 623			

Tableau 11 : Coefficients pour la définition traditionnelle des territoires avec portefeuille théorique

	Coefficients	Écart-type	Stat. t	Valeur de P	Borne inférieure 95 %	Borne supérieure 95 %
Terme constant	33,62	1	28,34	4,3E-173	31,29	35,94
Définition des territoires	0,265	0	171,12	0	0,262	0,268

L'erreur moyenne absolue des relativités de territoire est d'environ 20 % et le coefficient de pondération moyen pondéré est de 9,5 %, ce qui indique que les définitions de territoire sont appropriées pour cet usage. Les définitions résultantes produisent 1 425 territoires distincts.

Outre la méthode décrite ici, nous avons évalué une méthode moins traditionnelle qui tire parti de la non-contiguïté des territoires (voir la section 7.5.1 ci-dessous).

6.2.4 Relativités de taux

Un autre ensemble de données sur l'exposition théorique a été produit pour calculer les relativités de taux pour le type de construction et les valeurs de la franchise.

L'ensemble de données sur l'exposition théorique a été produit en prenant le risque de base utilisé pour l'analyse de la définition des territoires et en le reproduisant neuf fois à chaque lieu géographique, et en variant soit le type de construction ou la valeur de la franchise pour chaque enregistrement de lieu additionnel. Trois types de construction et cinq valeurs de franchise ont été pris en compte en plus des caractéristiques de base (les caractéristiques de base supposées sont une construction en maçonnerie renforcée et une franchise de 1 000 \$). Toutes les autres caractéristiques d'exposition ont été maintenues constantes, afin que toute variation des sinistres moyens découle uniquement des changements touchant la construction ou la franchise.

Le sinistre annuel moyen sur l'ensemble des lieux a été calculé pour chaque variation des taux. Les valeurs respectives ont ensuite été divisées par le sinistre annuel moyen pour le risque de base, afin de déterminer dans quelle mesure cette caractéristique devrait changer le taux d'une police donnée. Les résultats de ce calcul sont présentés au tableau 12.

Tableau 12 : Relativités de taux pour le portefeuille théorique

Variable	Type de construction	Valeur de la franchise	Sinistre annuel moyen, risque de base	Sinistre annuel moyen révisé	Ratio des sinistres annuels moyens	Écart-type du ratio	CV
Base	Maçonnerie renforcée	1 000 \$	210,07	210,07	1,000	0,000	0,000
Construction	Bois	1 000 \$	210,07	283,31	1,349	0,003	0,002
Construction	Maçonnerie plaquée	1 000 \$	210,07	254,71	1,212	0,002	0,002
Construction	Maçonnerie non renforcée	1 000 \$	210,07	245,16	1,167	0,002	0,002
Franchise	Maçonnerie renforcée	2 500 \$	210,07	209,35	0,997	0,001	0,001
Franchise	Maçonnerie renforcée	1 %	210,07	208,65	0,993	0,001	0,001
Franchise	Maçonnerie renforcée	2,5 %	210,07	193,58	0,922	0,012	0,013
Franchise	Maçonnerie renforcée	5 %	210,07	179,20	0,853	0,016	0,019
Franchise	Maçonnerie renforcée	10 %	210,07	157,10	0,748	0,020	0,027

Puisqu'il y a très peu de variation entre les ratios indiqués, il a été jugé inutile d'évaluer les relativités selon une résolution géographique plus fine que celle correspondant à l'ensemble du portefeuille. Il aurait probablement été utile de le faire si le plan de tarification portait sur une région géographique beaucoup plus vaste ou sur des polices qui seront émises dans des zones beaucoup plus à risque d'inondation, par exemple dans une zone avec périodicité de 100 ans.

Lors de la validation du modèle utilisé pour cette analyse, nous savions qu'il n'y avait pas de dépendance explicite entre le type de construction et la valeur de la franchise, ce qui nous a permis d'évaluer les deux caractéristiques de façon indépendante aux fins de plan de tarification. L'indépendance a été confirmée en vérifiant si les relativités de franchise seraient sensiblement différentes si elles étaient calculées en utilisant un risque de base à ossature de bois plutôt qu'en maçonnerie renforcée. La construction à ossature de bois a été choisie parce qu'elle est la plus vulnérable des quatre types de construction examinés, alors que le risque de base initial en maçonnerie est le moins vulnérable. Les résultats de cette analyse de sensibilité se trouvent au tableau 13.

Tableau 13 : Calcul des relativités de taux pour l'analyse de sensibilité portant sur le portefeuille théorique

Variable	Type de construction	Valeur de la franchise	Sinistre annuel moyen, risque de base	Sinistre annuel moyen révisé	Relativité moyenne	Écart-type du ratio	CV
Base	Bois	1 000 \$	283,31	283,31	1,000	0,000	0,000
Franchise	Bois	2 500 \$	283,31	282,27	0,996	0,001	0,001
Franchise	Bois	1 %	283,31	281,32	0,993	0,001	0,001
Franchise	Bois	2,5 %	283,31	262,10	0,925	0,012	0,013
Franchise	Bois	5 %	283,31	243,17	0,858	0,016	0,019
Franchise	Bois	10 %	283,31	213,80	0,755	0,020	0,027

La comparaison, avec le scénario de base (voir le tableau 12), des relativités de franchise à l'aide de cette analyse de sensibilité montre que tous les facteurs de relativité sont très similaires, ce qui indique qu'il n'y a pas de liens de dépendance entre les deux variables.

Toutefois, cela ne sera pas toujours le cas, car plusieurs caractéristiques des bâtiments sont interdépendantes, comme le sont nombre des conditions de polices. Si l'interdépendance au sein du modèle était connue ou démontrée au moyen de tests comme celui-ci, il serait alors plus rigoureux du point de vue actuariel de tenir compte de toutes les combinaisons possibles des variables de tarification considérées, afin de ne pas fausser les facteurs de relativité obtenus. Lorsque plusieurs variables de tarification interdépendantes sont étudiées simultanément, comme dans le cas d'une étude exhaustive d'atténuation, l'augmentation exponentielle du nombre de combinaisons possibles peut faire en sorte que le portefeuille théorique devienne si gros qu'il est impossible de l'analyser au moyen d'un modèle de catastrophe. Dans ce cas, il faut réduire le nombre de points géographiques à modéliser. Au moment de procéder à cette réduction, il faut veiller à ce que la distribution géographique du plan de tarification soit maintenue, ce qui peut être fait en s'assurant que celui-ci comporte des points représentatifs de chaque territoire.

6.2.5 Rebalancement

À ce stade-ci, nous avons déterminé le taux de base initial. Ensuite, ce taux peut faire l'objet de toutes sortes d'ajustements pour tenir compte des facteurs de relativité de taux et de territoire. L'étape suivante consiste à ajuster le taux de base pour que les taux calculés pour toutes les polices du portefeuille correspondent au taux moyen initial, selon la formule suivante :

$$\text{Taux de base final} = \text{Taux moyen initial} * \left(\frac{\text{Taux moyen initial}}{\text{Taux moyen calculé}} \right)$$

Le taux moyen calculé est la moyenne des taux de chaque police du portefeuille. Le taux de chaque police est déterminé en appliquant tous les facteurs de relativité de taux et de territoire ainsi qu'un facteur d'exposition au taux moyen. Dans le cas de ce plan de tarification, la formule du taux de chaque police s'établit ainsi :

$$\text{Taux de la police} = (\text{Taux moyen}) * (\text{Relativité d'exposition}) * (\text{Relativité de territoire}) * (\text{Relativité de construction}) * (\text{Relativité de franchise})$$

Le taux moyen, calculé net de la réassurance à la section 6.2.2 ci-dessus, est de 677,78 \$. Le facteur d'exposition correspond à la valeur de remplacement du bâtiment visé par la police, divisée par la valeur de remplacement de base de 300 000 \$. Les relativités des facteurs de territoire et de taux sont calculées respectivement selon la procédure des sections 6.2.3 et 6.2.4.

La formule qui suit montre un exemple de calcul du taux pour une police du portefeuille. La police est dans le territoire 1, le bâtiment, construit en bois, a une valeur de 232 000 \$ et la franchise est de 1 000 \$. Le taux de la police s'obtient donc ainsi :

$$\text{Taux de la police} = (677,78 \$) * \left(\frac{232\,000}{300\,000} \right) * (0,166) * (1,349) * (1,000) = 117,38 \$$$

Ce calcul est répété pour chacune des 19 206 polices du portefeuille. Nous calculons ensuite la moyenne de ces taux, qui est de 920,63 \$. Cette valeur est ensuite saisie dans la formule de rebalancement ci-dessus :

$$\text{Taux de base final} = 677,78 \$ * \left(\frac{677,78}{920,63}\right) = 498,99 \$$$

Le taux de base obtenu est ensuite utilisé comme point de départ pour calculer le taux de chaque police. Le calcul pour la police choisie et décrite ci-dessus est le suivant :

$$\text{Taux de la police} = (498,99 \$) * \left(\frac{232\ 000}{300\ 000}\right) * (0,166) * (1,349) * (1,000) = 86,41 \$$$

La moyenne obtenue sur toutes les polices devrait correspondre au taux moyen initial de 677,78 \$, ce qui est le cas ici.

Il s’agit là d’une application relativement simple de cette procédure, car seulement quelques facteurs de relativité sont appliqués. Dans la pratique, il y aura probablement beaucoup plus de facteurs, mais le processus devrait rester le même.

6.2.6 Pages de tarifs finaux

À ce stade-ci, les calculs visant à déterminer le plan de tarification dans sa totalité sont terminés. Nous présentons ci-après un résumé des pages de tarifs du plan.

Tableau 14 : Définition du risque de base, pages de tarifs de la société fictive

Variable	Valeur
Affectation	Habitation unifamiliale
Construction	Maçonnerie renforcée
Franchise	1 000 \$
Valeur de remplacement du bâtiment et montant de garantie (couverture A)	300 000 \$
Valeur des dépendances et montant de garantie (couverture B)	5 % de la couverture A
Valeurs des biens et montant de garantie (couverture C)	70 % de la couverture A
Montant de garantie des frais de subsistance supplémentaires (couverture D)	20 % de la couverture A
Taux de base	489,99 \$

Tableau 15 : Facteurs de relativité de construction, pages de tarifs de la société fictive

Construction	Relativité
Maçonnerie renforcée	1,000
Bois	1,349
Maçonnerie plaquée	1,213
Maçonnerie non renforcée	1,167

Tableau 16 : Facteurs de relativité de franchise, pages de tarifs de la société fictive

Franchise	Relativité
Franchise initiale	1,000
1,0 %	0,994
2,5 %	0,915
5,0 %	0,844
10,0 %	0,737

Les définitions des territoires du plan de tarification comprenaient 1 425 territoires distincts. Au lieu de les énumérer ici, nous les présentons à l'annexe C. Le plus bas facteur de relativité de territoire est de 0,166, tandis que le plus élevé est de 4,750. 739 des territoires indiquent un taux inférieur au taux de base, tandis que 685 ont un taux supérieur au taux de base. Un des territoires ne montre aucune différence par rapport au taux de base.

6.3 Comparaison des taux fondés sur l'expérience avec ceux que produirait le cadre proposé

Pour démontrer certains des avantages de la modélisation des catastrophes dans le contexte de la société fictive, nous avons utilisé les sinistres réels de cette société présentés au tableau 4 pour produire un plan de tarification similaire. La tarification a été effectuée deux fois, une fois en utilisant l'ensemble complet de l'expérience historique observée jusqu'en 2017 et une fois en utilisant uniquement l'expérience observée jusqu'en 2016 et en remplaçant la 15^e année par les sinistres moyens de 2003 à 2016.

La première étape consiste à calculer la charge de risque en se fondant sur ces deux scénarios d'expérience de sinistres historiques.

Tableau 17 : Résultats de sinistres historiques de la société fictive

Année	Ensemble des années (scénario 1)		2003 – 2016 (scénario 2)	
	Réclamations	Sinistres historiques	Réclamations	Sinistres historiques
2003	7	375 487	7	375 487
2004	103	8 169 837	103	8 169 837
2005	97	8 150 913	97	8 150 913
2006	49	4 103 903	49	4 103 903
2007	29	1 952 638	29	1 952 638
2008	150	13 069 088	150	13 069 088
2009	33	2 588 974	33	2 588 974
2010	10	514 923	10	514 923
2011	74	5 585 134	74	5 585 134
2012	32	1 991 075	32	1 991 075
2013	15	933 819	15	933 819
2014	129	9 634 851	129	9 634 851
2015	2	340 155	2	340 155
2016	76	5 026 550	76	5 026 550
2017	390	33 756 400	58	4 459 811
Sinistres annuels moyens		6 412 916		4 459 811
Écart-type		8 487 818		3 850 158
Facteur de réticence		0,15		0,15
Charge de risque		1 273 173		577 524

Années-habitation	19 206		19 206
Prime pure	333,90		232,21
Charge de risque	66,29		30,07

Puisqu'il n'y a pas d'années où les tranches de réassurance de la société fictive sont franchies, nous ne tiendrons compte que du taux moyen direct. En conservant le même facteur de réticence et les mêmes formules que précédemment, les charges de risque et la prime pure directe sont calculées dans le tableau 17.

Nous pouvons ensuite insérer ces valeurs dans le même cadre que celui de la section 6.2.1 ci-dessus

Tableau 18 : Comparaison du calcul du taux moyen de la société fictive selon les sinistres modélisés et selon l'expérience historique

N°	Composante	Résultats des sinistres modélisés (A)	Scénario 1 (B)	Scénario 2 (C)	Commentaire
(1)	Commissions	20 %	20 %	20 %	Choisi
(2)	Impôt sur les primes	4 %	4 %	4 %	Choisi
(3)	Dépenses fixes	25 \$	25 \$	25 \$	Choisi
(4)	Tendance	2 %	2 %	2 %	Choisi
(5)	Durée de la tendance (en années)	2,5	2,5	2,5	Choisi
(6)	Rendement des placements	2 %	2 %	2 %	Choisi
(7)	Ratio des primes excédentes	2:1	2:1	2:1	Choisi
(8)	Provision pour bénéfices techniques	5 %	5 %	5 %	Choisi
(9)	Frais de règlement	10 %	10 %	10 %	Choisi
(10)	Sinistre annuel moyen direct	5 435 490	6 412 916	4 459 811	(A) = Obtenu du modèle; (B) et (C) = Voir le tableau 16
(11)	Années-habitation	19 206	19 206	19 206	Obtenu du portefeuille fictif
(12)	Prime pure des sinistres directs	283,01	333,90	232,21	= (10) / (11)
(13)	Prime pure des sinistres directs, affectée d'une tendance	297,37	350,85	243,99	= (12) * [1 + (4)] ^ (5)
(14)	Prime pure des sinistres et frais de règlement directs	327,11	385,93	268,39	= (13) * [1 + (9)]
(15)	Charge de risque	70,50	66,29	30,07	(A) = Voir le tableau 5 (B) et (C) = Voir le tableau 16
(16)	Taux moyen direct indiqué	571,10	644,90	437,11	Voir la formule de la section 6.2.1

Les grandes fluctuations des sinistres entre le scénario 1 et le scénario 2 démontrent la difficulté de tarifier des risques de catastrophe en fonction de l'expérience historique. La période de quatorze ans comprise entre 2003 et 2016 produit un taux qui est inférieur de 23 % au taux moyen à long terme indiqué par le modèle de catastrophe, et le fait d'ajouter une seule année à cette période a pour effet d'augmenter de 48 % le taux moyen indiqué. Cette instabilité des taux est difficile à supporter tant du point de vue des assureurs que de celui des titulaires de polices et pourrait entraîner des chocs importants sur la provision pour participation aux excédents après plusieurs années où les taux sont inadéquats.

Les sinistres en 2017 représentent un peu moins qu'une périodicité de 50 ans. Cela peut sembler un exemple extrême qui se produit sur une période de 15 ans, mais il y a une probabilité d'environ 26 % d'enregistrer des sinistres représentant une périodicité de 50 ans sur une période de 15 ans.

Ce serait bien sûr une coïncidence remarquable que la seule année où les sinistres sont particulièrement importants, soit la dernière de la période statistique de 15 ans. Cela montre simplement que lorsqu'il est question d'un risque de catastrophe, il

peut s'écouler de nombreuses années sans que l'on observe de sinistres dans la « queue » de distribution des sinistres. Notons toutefois que, dans la pratique, il importe peu quand a lieu le résultat le plus extrême. La difficulté est la même dans tous les cas. Le fait de ne pas avoir à interpréter l'expérience historique, de ne pas avoir à décider si le plus grand sinistre observé doit être considéré comme étant anormalement élevé ou précurseur de sinistres encore plus importants, est l'un des avantages de l'utilisation d'un modèle de catastrophe.

En plus d'assurer la stabilité des taux lorsqu'il s'agit de déterminer les sinistres moyens à long terme du portefeuille, l'utilisation d'un modèle de catastrophe offre comme autre avantage de simuler l'impact des variables de tarification et la variation géographique des estimations des sinistres sans biais. L'utilisation de l'expérience historique à cette fin entraînerait un biais important et des erreurs d'échantillonnage dans le calcul des facteurs de relativité. Bien que nous ne disposions pas de données historiques détaillées sur les sinistres de la société fictive avec lesquelles nous aurions pu générer des relativités, nous avons utilisé les résultats modélisés du portefeuille réel de cette société pour illustrer les problèmes que le biais peut introduire dans l'évaluation des relativités. En comparant les sinistres moyens par exposition pour différentes catégories de polices du portefeuille, nous avons produit les résultats du tableau 19.

Tableau 19 : Calcul des relativités de tarification selon le portefeuille réel de la société fictive

Variable	Type de construction	Valeur de franchise	Montant moyen de garantie	Lieux	Sinistre annuel moyen	Sinistre moyen par exposition	Relativité moyenne
Base	Maçonnerie renforcée	750 \$	335 806	3 261	288	267	1,00
Construction	Bois	750 \$	336 249	2 059	288	266	1,00
Construction	Maçonnerie plaquée	750 \$	334 778	2 518	287	267	1,00
Construction	Maçonnerie non renforcée	750 \$	336 178	1 623	285	262	0,99
Franchise	Maçonnerie renforcée	500 \$	280 619	1 710	288	317	1,00
Franchise	Maçonnerie renforcée	1 000 \$	447 885	1 633	298	214	1,03

L'introduction de biais dans le portefeuille produit des résultats contraires au bon sens. Il n'y a pratiquement aucune variation dans les sinistres moyens entre les différents types de construction, et il y a en fait des relativités inverses pour une valeur de franchise accrue. Bien qu'une partie de ce biais puisse être éliminée au moyen de techniques actuarielles standards, l'utilisation d'un modèle de catastrophe avec exposition théorique permet d'éliminer le biais beaucoup plus facilement.

Enfin, le modèle génère des milliers de simulations d'activité annuelle de catastrophes. Il n'y a aucun moyen de générer de l'expérience historique qui représenterait un ensemble aussi grand de sinistres. Cette limitation soulève des problèmes de crédibilité lorsqu'on ne dispose guère de données historiques sur certaines variables lorsqu'il s'agit de fixer un tarif.

Section 7 Autres champs à explorer

7.1 Décisions en matière de souscription

Le présent document traite de méthodes servant à déterminer le tarif technique ou actuariel. Comme c'est le cas pour la tarification réelle ou commerciale du risque de catastrophe, les assureurs doivent prendre en compte les tarifs ou les garanties qu'offre la concurrence sur divers marchés. Le tarif technique global et par territoire ou selon d'autres variables de tarification dépend en grande partie de l'exactitude et de la pertinence du modèle de catastrophe sous-jacent. Les concurrents utilisent souvent des modèles de catastrophes différents. Lorsque des écarts importants dans les prix du marché apparaissent entre des concurrents respectés, l'actuaire doit déterminer si cela dénote une divergence marquée dans la façon dont les modèles concurrents évaluent l'impact des variables de tarification, et utiliser cette information dans le cadre du cycle de contrôle actuariel.

Même si le modèle de catastrophe n'est pas explicitement intégré aux algorithmes de tarification de l'assureur, les résultats des modèles de catastrophe peuvent servir à améliorer les lignes directrices en matière de souscription, afin d'interdire l'offre de certaines garanties dans les territoires où le risque est élevé ou de garanties relatives à des biens comportant ou non certaines caractéristiques atténuantes.

7.2 Gestion du portefeuille

Il faut des capitaux pour pouvoir émettre un portefeuille de polices et ces capitaux ont un coût. La méthode décrite dans le présent document prévoit ce coût en incluant une charge de risque, le coût de la réassurance et une provision pour profit. Au fil du temps, ces coûts varient à mesure que le portefeuille de polices change. Lorsque des changements importants sont apportés à un portefeuille, les changements de coûts qui en résultent méritent d'être pris en compte.

Lorsqu'il songe à ajouter un risque ou un ensemble de risques, l'assureur doit étudier l'impact de cet ajout sur l'ensemble de son profil de risque. Les changements peuvent être graduels, comme c'est habituellement le cas pour l'émission de polices individuelles d'assurance habitation. Les changements peuvent être plus prononcés s'il s'agit de l'assurance de risques plus importants ou de l'acquisition d'un groupe important de polices qui viendrait s'ajouter au portefeuille. Les assureurs peuvent évaluer le risque marginal lié au changement dans le portefeuille. Le risque marginal est la quantité de variation de la mesure du risque du fait d'ajouter ou de retrancher des expositions assurées.

Habituellement, le modèle de catastrophe fournit une mesure du risque marginal en alignant les sinistres estimés pour le risque marginal ou l'ensemble de risques sur les sinistres correspondants pour le portefeuille existant.

L'assureur peut constater que l'ajout d'un risque ou d'un ensemble de risques fait augmenter son profil de risque à un niveau susceptible d'inquiéter les agences de notation ou au-delà d'un niveau cohérent avec le fonctionnement de sa protection de réassurance. L'assureur peut refuser le risque, modifier les conditions de la garantie ou peut-être transférer une partie du risque au moyen d'une réassurance supplémentaire, p. ex., un placement facultatif. Il se peut également que les expositions ajoutées soient peu corrélées avec le portefeuille existant ou situées dans des régions où la concentration du risque est moindre. Dans ce cas, le risque marginal n'est pas préoccupant. Une approche selon laquelle les expositions théoriques, semblables à celles utilisées dans l'exemple de tarification, sont ajoutées au portefeuille existant à des fins de modélisation, peut également être utile pour évaluer les plans de croissance et de marketing.

La méthode de tarification décrite à la section 5 ci-dessus prévoit une charge de risque basée sur l'ensemble des polices modélisées. S'agissant d'un plan de tarification, il ne tient pas compte de façon dynamique de l'évolution du risque du portefeuille découlant de l'émission de polices susceptibles de faire croître le portefeuille. Si l'on souhaite savoir la grandeur de la charge de risque à intégrer à un portefeuille plus grand ou plus petit, on peut remodeler le portefeuille. Le processus de modélisation lui-même reflétera la corrélation (ou l'absence de corrélation) du changement prévu dans le portefeuille et la différence dans la charge de risque sur le portefeuille modifié peut être constatée en établissant une comparaison avec la charge de risque initiale.

Il vaut la peine d'étudier toute concentration géographique des polices, car celle-ci influe sur le niveau global du risque et sur le coût de la réassurance à long terme. Les assureurs peuvent contrôler où se produit la croissance, soit par ajustement des tarifs commerciaux, soit par une politique de souscription, afin de gérer le risque global du portefeuille. Les assureurs peuvent

également améliorer la façon dont les charges de risque et les coûts de réassurance sont intégrés au calcul des taux, tel qu'il est décrit à la section 7.6.

7.3 Variantes de la méthode proposée pour prendre en compte différentes situations de tarification

Le cadre décrit ci-dessus s'applique à l'assureur qui veut tarifier un nouvel avenant pour un portefeuille existant de polices d'assurance habitation. Les principes décrits dans les présentes s'appliquent généralement à toutes les situations de tarification, mais il existe certaines différences.

7.3.1 Tarification d'une police autonome

L'exemple présenté portait sur la tarification d'un avenant. Pour établir le tarif d'une police autonome, les différences seraient relativement minimales et toucheraient aux relativités fondamentales et à la définition de la franchise de base. De plus, les critères de souscription seraient plus souples et pourraient varier considérablement.

7.3.2 Tarification d'un programme entièrement nouveau

L'exemple présenté présumait l'existence d'un portefeuille qui servait de base à la nouvelle offre de polices. Si l'on envisage de produire un plan de tarification pour un nouveau programme, il faut créer un portefeuille actuel hypothétique. Cela peut se faire en spécifiant les critères de souscription et les paramètres de tarification souhaités, puis en simulant de façon aléatoire le portefeuille souhaité. Il faudra prendre en compte la distribution géographique prévue et les pourcentages prévus des différents paramètres à inclure dans le portefeuille.

7.4 Variantes de la méthode proposée pour prendre en compte différents risques

Les exemples précédents portaient sur la tarification du risque d'inondation. Bien que le cadre s'applique de façon générale à tous les risques de catastrophe, certaines variantes doivent être étudiées selon la nature du risque modélisé.

7.4.1 Orages violents

Le risque d'inondation varie considérablement d'un lieu à l'autre en raison de l'impact important de petits changements tels que l'élévation et la pente, à l'intérieur de petites zones. Les inondations touchent donc souvent des régions très définies. Les orages violents, qu'il s'agisse de tornades, de grêle ou de vents rectilignes, ont un impact similaire sur des zones très précises lorsqu'ils se produisent. Cependant, cet impact n'est pas directement attribuable à des changements du risque dans une zone relativement petite, mais simplement à la direction aléatoire de ces petites cellules orageuses isolées.

En raison du caractère de plus en plus aléatoire des orages violents, conjugué à l'étendue limitée des zones touchées, il est préférable d'adopter une approche moins granulaire pour les définitions des territoires. Plusieurs lieux géographiques doivent être modélisés, puis regroupés dans des zones contiguës pour assurer l'homogénéité des coûts des sinistres qui en résultent.

Puisque les caractéristiques dommageables principales des orages violents sont le vent (cyclonique et rectiligne) et la grêle, les caractéristiques du toit ont un impact beaucoup plus important sur les sinistres que dans le cas du risque d'inondation, pour lequel l'élévation et les caractéristiques du sous-sol ont un impact plus important.

7.4.2 Tempêtes hivernales

Les tempêtes hivernales frappent généralement une zone assez grande, et les variations géographiques du risque sont également d'une assez grande échelle, à l'exception des très hautes altitudes, où les grosses chutes de neige et les vents violents sévissent tous deux. Pour cette raison, il est approprié d'utiliser une approche moins granulaire pour agréger les territoires.

Les principales caractéristiques dommageables des tempêtes hivernales sont le vent, les précipitations (neige, grésil ou pluie verglaçante) et le gel. Les caractéristiques du toit, de même que les caractéristiques d'isolation, ont donc un impact beaucoup plus important sur les sinistres que dans le cas du risque d'inondation.

7.4.3 Ouragans

Les ouragans frappent généralement une zone assez grande, mais les variations géographiques du risque sont très fortement corrélées avec la proximité des côtes, car habituellement les phénomènes perdent beaucoup en intensité à mesure qu'ils

s'éloignent des côtes. Pour cette raison, il convient d'évaluer un degré supérieur de variation régionale dans les territoires le long des côtes et une résolution plus grande à l'intérieur des terres.

Les principales caractéristiques dommageables des ouragans sont le vent, les ondes de tempête et les inondations causées par les précipitations. Pour ce qui est du risque de vent, les caractéristiques du toit ont un impact beaucoup plus important sur les sinistres que pour le risque d'inondation.

Contrairement aux tempêtes hivernales et aux orages violents, les vents des ouragans, très dommageables, peuvent durer beaucoup plus longtemps, ce qui accroît l'importance des sources de projectiles et de la protection des ouvertures.

Les considérations relatives aux composantes des ondes de tempête et de précipitations attribuables aux ouragans sont très semblables à celles des sources d'inondation à l'intérieur des terres décrites précédemment.

7.4.4 Tremblements de terre

Les tremblements de terre frappent généralement une zone assez grande, et bien que le risque soit concentré dans les régions où l'existence d'une ligne de faille est connue, le risque de sinistre est partout.

En outre, des augmentations importantes du risque peuvent survenir en raison des conditions du sol fortement localisées, certains sols pouvant se liquéfier sous l'effet du mouvement et causer des dommages importants, même loin de l'épicentre. Par conséquent, les définitions de territoires doivent tenir compte des conditions locales du sol en plus de la proximité des lignes de faille connues et des zones sismiques.

Les tremblements de terre peuvent causer des dommages du fait d'une multitude de risques secondaires : mouvement du sol, liquéfaction, glissements de terrain, incendies subséquents, dégâts causés par les extincteurs automatiques et tsunamis. Les risques liés au mouvement terrestre dépendent largement du type de fondation, des caractéristiques de réaction sismique et du nombre d'étages.

Les incendies subséquents dépendent en grande partie de la densité du bâtiment, et le risque de tsunami s'apparente au risque d'inondation.

7.4.5 Incendies de forêt

La majorité des incendies de forêt se trouvent soit dans une zone relativement petite, soit dans de vastes zones de forêts non exploitées, de sorte que la majeure partie des dommages est concentrée dans les zones périurbaines, c'est-à-dire là où le développement urbain rencontre la forêt. Les territoires doivent tenir compte des combustibles environnants et, à l'exemple des orages violents, comporter une variation échantillonnale suffisante afin que l'occurrence aléatoire des incendies périurbains soit regroupée dans une zone plus large.

Les dommages causés par les incendies dépendent dans une large mesure de l'inflammabilité de la construction. En raison de la possibilité de propagation rapide des incendies une fois qu'ils envahissent des zones concentrées d'immeubles (comme les banlieues), les techniques d'atténuation communautaires ont une incidence importante.

7.5 Améliorations possibles à la méthode proposée

7.5.1 Relativités de territoire sans contiguïté

Bien que les territoires définis à la section 6.2.3 ci-dessus soient statistiquement adaptés à cette fin, cette méthode de regroupement des territoires comporte des limites. Elle produit un grand nombre de territoires, et il est possible d'améliorer l'exactitude des définitions des territoires. Pour ce faire, nous éliminons la condition de contiguïté dans les définitions de territoire.

Suivant cette méthode, les mêmes résultats du portefeuille théorique sont utilisés, mais plutôt que d'évaluer les regroupements au niveau RTA, nous commençons par regrouper les résultats au niveau du code postal, en conservant les mêmes intervalles d'élévation et de distance par rapport aux zones inondables. Comme autre solution, toute grille définie de spécificité souhaitable peut être construite, ce qui peut être préférable pour une région non métropolitaine. Au départ, il en résulte beaucoup plus de

regroupements (multipliés par plus de 5, dans ce cas). Les autres regroupements plus raffinés sont classés du plus grand au plus petit sinistre moyen. Enfin, un processus itératif est suivi pour attribuer le regroupement ayant le sinistre moyen le plus élevé au premier territoire et évaluer le coefficient de variation entre les sous-groupes du territoire et le critère de crédibilité du territoire. Ce processus étant itératif, il se traduit par l'ajout d'un nouveau sous-groupe au territoire et un nouveau calcul de la crédibilité et du coefficient de variation, jusqu'à ce que la pleine crédibilité soit atteinte ou que le coefficient de variation soit supérieur à 1 %. Une fois ces seuils atteints, le sous-groupe suivant en termes de grandeur du sinistre moyen devient le deuxième territoire, et le processus est répété jusqu'à ce que tous les sous-groupes soient comptabilisés et que les territoires soient entièrement définis.

L'application de cette méthode aux mêmes résultats de l'exposition théorique que ceux qui ont été analysés à la section 6.2.3 a produit seulement 62 territoires (par opposition à 1 425) et a réduit l'erreur moyenne absolue de 20 % à 8,5 %. Les statistiques de régression fondées sur cet échantillon se trouvent ci-dessous. L'inverse multiplicatif de la statistique F, comme celui qui correspond à la méthode traditionnelle, devient nul après arrondissement. Le coefficient de corrélation est plus élevé à environ 90 %.

Tableau 20 : Statistiques de régression pour la définition traditionnelle des territoires avec portefeuille théorique

Statistiques de régression	
R, coefficient de corrélation multiple	0,89
R carré	0,79
R carré ajusté	0,79
Écart-type	59,50
Observations	19 206

Tableau 21 : Résultat de l'analyse de variance pour la définition traditionnelle des territoires avec portefeuille théorique

	Degrés de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Signification de F
Régression	1	252 418 135	252 418 135	71 298	0
Résidu	19 204	67 988 487	3 540		
Total	19 205	320 406 623			

Tableau 22 : Coefficients pour la définition traditionnelle des territoires avec portefeuille théorique

	Coefficients	Écart-type	Stat. <i>t</i>	Valeur de <i>P</i>	Borne inférieure 95 %	Borne supérieure 95 %
Terme constant	483,94	1	435,24	0	481,76	486,12
Définition des territoires	-9,13	0	-267	0	-9,20	-9,06

En ce qui concerne le risque d'inondation, cette approche plus raffinée présente d'énormes avantages. Nous l'avons vu, les sinistres inondations peuvent varier considérablement dans une petite région géographique, de sorte que la méthode sans contiguïté est probablement plus appropriée. Cette méthode pourrait être améliorée avec l'ajout de données théoriques à des points autres que ceux du portefeuille actuel, ce qui faciliterait l'émission de nouvelles polices et l'exactitude des estimations. Cette considération fait l'objet de la section 7.5.2.

Étant donné que la méthode sans contiguïté ne s'applique pas toujours aux risques de catastrophe qui sont moins localisés que le risque d'inondation, la démonstration de faisabilité a été faite suivant la méthode traditionnelle. Cependant, le concept du processus décrit aux sections 6.2.4 à 6.2.6 reste inchangé, quelles que soient les particularités du processus de définition des territoires.

7.5.2 Utilisation de données entièrement théoriques

Le plan de tarification de la société fictive a été fondé sur un portefeuille théorique dont les lieux géographiques étaient fonction des lieux du portefeuille existant, ce qui peut entraîner des lacunes dans les définitions des territoires pour les régions qui ne sont pas actuellement représentées dans le portefeuille.

L'utilisation d'un ensemble complet de données théoriques, qui comprendrait des régions non incluses dans le portefeuille actuel, permettrait de déterminer des configurations de territoire plus exactes. Cela vaut aussi bien pour les méthodes avec contiguïté que pour celles sans contiguïté décrites dans le présent document. Des données théoriques pourraient être produites pour toutes les régions géographiques dans lesquelles l'assureur souhaite émettre des polices, en utilisant toutes les RTA ou tous les codes postaux possibles, ou en utilisant un ensemble quadrillé de coordonnées. Avec un ensemble complet de données théoriques, la crédibilité serait améliorée et des territoires contigus pourraient être établis à l'aide d'une définition plus précise, par exemple, avec des sous-régions et des intervalles d'élévation et de distance.

D'autres simulations de données théoriques pourraient également améliorer l'exactitude des relativités principales, bien que l'étendue de l'amélioration soit probablement limitée en raison de la variation mineure due à l'utilisation des lieux du portefeuille.

7.5.3 Évaluation de toutes les combinaisons de variables de tarification possibles

Tel qu'il a été décrit à la section 6.2.4 ci-dessus, en ce qui concerne les variables étudiées pour l'établissement du plan de tarification de la société fictive, et le modèle utilisé pour générer les sinistres, il n'y avait pas d'interdépendances à prendre en compte. Ce ne sera pas toujours le cas, car de nombreuses caractéristiques des bâtiments et des polices sont liées entre elles. Pour éviter de compter en double l'impact des caractéristiques connexes, il serait plus rigoureux de tenir compte de toutes les combinaisons possibles des variables de tarification étudiées. Cela pourrait produire des ensembles de données nettement plus importants sur l'exposition théorique et les sinistres, mais cela peut être compensé par la réduction du nombre de points géographiques modélisés dans le portefeuille théorique.

7.5.4 Établissement des taux et du coût de réassurance dans le cas de biens à risque élevé

La société fictive incluse dans cette démonstration de faisabilité avait éliminé les biens du portefeuille qui présentaient le plus grand risque. Cela avait été fait pour des raisons d'accessibilité des tarifs du fait que le plan de tarification hypothétique portait sur un produit offert sous forme d'avenant à une police d'assurance habitation. Par conséquent, la prime moyenne a été limitée à une fraction de la prime moyenne de la police d'assurance habitation. Cela ne sera pas toujours possible ou souhaité et certaines choses doivent être prises en considération dans la tarification de ces polices.

Il est courant que la garantie d'assurance de biens à risque élevé intègre ou exige même un certain nombre d'ajustements pour atténuer ce risque pour l'assureur. Par exemple, les franchises pour le risque élevé d'inondation peuvent être offertes à des montants ou à des pourcentages plus élevés que les franchises des polices standards en assurance habitation, et les montants de garantie pour le risque d'inondation sont souvent inférieurs à ceux des autres risques. La structure de la police et le plan de tarification doivent donc être bien adaptés de manière à assurer l'accessibilité des tarifs d'assurance des biens à risque élevé, sans empêcher l'établissement de taux rigoureux du point de vue actuariel.

Il importe également d'être très prudent à l'égard des données modélisées qui génèrent des coûts de sinistre très élevés pour certaines régions ou certaines polices, afin que le résultat modélisé soit valide. Par exemple, dans le cas du risque d'inondation, une cellule de la grille, un centroïde de code postal ou un géocode de l'adresse de la rue peut être placé par inadvertance dans un plan d'eau. Cela aura pour effet de gonfler considérablement les estimations de sinistres produites par le modèle. Il faut donc veiller à ce que ces risques soient géocodés avec exactitude. Il vaudrait la peine de travailler en dehors du contexte du plan de tarification structuré, afin d'avoir des tarifs particuliers pour les polices qui présentent le plus grand risque, de sorte qu'il soit possible d'examiner en détail le lieu géographique du bien à assurer et les efforts d'atténuation des sinistres qui ont été déployés.

7.5.5 Encouragement de l'atténuation des risques

La seule caractéristique de bâtiment considérée pour la société fictive était la relativité de construction. Il existe bien d'autres caractéristiques de bâtiment qui peuvent servir à atténuer les sinistres découlant de catastrophes comme les inondations. L'octroi de crédits de prime pour les efforts d'atténuation peut favoriser leur adoption et contribuer à réduire le risque global pour la société d'assurance.

Dans le cas du risque d'inondation en particulier, les efforts d'atténuation peuvent inclure des mesures spécifiques à l'habitation, telles que l'élévation du rez-de-chaussée et la protection du matériel de service, ainsi que les efforts des administrations publiques comme la construction de digues. Dans la mesure où le modèle de catastrophe utilisé peut saisir ces caractéristiques et leur impact relatif de façon appropriée, elles peuvent être tarifées de façon très similaire aux relativités de construction de la société fictive. Il faut prendre soin de déterminer l'indépendance (ou l'absence de celle-ci) des caractéristiques d'atténuation par rapport aux autres caractéristiques du bâtiment ou de la police dans le plan de tarification, et d'apporter des ajustements pour modéliser toutes les combinaisons possibles de ces variables si elles sont effectivement interdépendantes.

7.5.6 Affectation de la charge de risque et du coût de la réassurance

Lorsque le portefeuille est très dispersé géographiquement (par exemple, à l'échelle de la province ou du pays) ou qu'il comporte des régions présentant un grand risque, la charge de risque et le coût de réassurance sont fonction de certaines zones d'exposition accumulée ou dont le niveau de risque est élevé. Dans ces cas, il est conseillé d'affecter adéquatement la charge de risque et le coût de la réassurance à ces zones. Dans le cadre de ce processus, la somme des charges de risque de chaque territoire doit égaler la charge de risque globale du portefeuille. La charge de risque totale sur l'ensemble des territoires doit être égale à la charge de risque du portefeuille. Ce ne sera pas souvent le cas en raison du phénomène de corrélation¹⁵. Pour ce faire, on peut appliquer un facteur scalaire à la charge de risque de chaque territoire qui est proportionnel au coefficient de corrélation. Les taux seront équilibrés, mais sans ajustement, la charge de risque peut être surestimée dans les taux.

7.6 Variantes dans la tarification des charges de risque

La méthode utilisée pour estimer les charges de risque dans notre exemple hypothétique aussi bien pour les tarifs principaux des assureurs que ceux des réassureurs était la méthode traditionnelle, dont l'usage est très répandu pour déterminer les charges de risque de catastrophe :

$$\text{Charge de risque} = \text{Sinistre attendu} + (\text{Facteur de charge de risque}) * \sigma$$

C'est Kreps, dans un article, qui est à l'origine de cette technique. Dans la pratique, la détermination technique du facteur d'ajustement pour risque repose sur le jugement de la perception du risque et la tolérance au risque (l'intervalle de confiance), même avant d'être prise en compte dans les négociations entre le courtier, le réassureur et l'assureur direct pour l'offre d'une couverture.

Les données de sortie du modèle de catastrophe constituent un bon point de départ technique pour déterminer les charges de risque de catastrophe. Outre l'écart-type, les résultats du modèle comprennent d'autres variables qui peuvent être utilisées dans le calcul des chargements. Nous donnons ci-après un bref aperçu de ces variables et de leurs avantages et inconvénients relatifs ainsi qu'un exemple de calcul fondé sur les estimations modélisées des sinistres de la société fictive.

Écart-type

- Avantages
 - Facilité de calcul, incluse dans les résultats du modèle;
 - Les praticiens ont l'habitude de cette méthode de tarification et il y a disponibilité de données historiques;
 - Mesure de risque pure.

¹⁵ (Burke, 2009)

- Inconvénients
 - Prise en compte inadéquate des événements dans la queue de la distribution (la transformation de la distribution ou l'utilisation d'une mesure de distorsion pourrait remédier à cet inconvénient, mais cela compliquerait grandement les choses);
 - Ne respecte pas toutes les conditions de cohérence;
 - Inclut les résultats positifs et négatifs (l'utilisation d'un écart-type conditionnel limité aux résultats supérieurs à la moyenne permettrait de remédier à cet inconvénient).

L'écart-type est calculé comme suit :

$$\text{Écart - type} = \sqrt{\frac{\sum(X - \mu)^2}{n - 1}}$$

où X = total estimé des sinistres pour chaque année simulée, μ = SAM modélisé et n = nombre d'années simulées dans le catalogue des modèles de catastrophe. Il y a 10 000 années simulées dans le catalogue utilisé par la société fictive et le SAM est de 5 435 547 \$ (assurance directe).

VAR Θ = Résultat le moins favorable parmi le (1- Θ) centile des pires résultats.

- Avantages
 - Mesure largement utilisée dans les secteurs bancaire et financier;
 - Facile à déterminer, incluse dans les résultats du modèle;
 - Peut représenter explicitement la probabilité de ruine ou de défaut, une considération de solvabilité importante pour les assureurs.
- Inconvénients
 - Met l'accent sur une distribution ponctuelle, sans prise en compte adéquate de la queue;
 - Ne respecte pas les principes de cohérence;
 - Ne tient pas compte du reste de la distribution (sans queue).

VAR Θ équivaut à la probabilité de dépassement de Θ %. Dans ce cas, nous nous intéressons au total des sinistres de chaque année, de sorte que c'est la courbe PD agrégée qui est utilisée. La courbe PD agrégée est produite en prenant la somme des sinistres pour chaque année simulée, en classant les années par ordre décroissant, puis en faisant égaliser la probabilité de dépassement totale au rang divisé par le nombre total d'années simulées. Le tableau 23 montre l'obtention de la courbe PD basée sur les résultats modélisés des sinistres de la société fictive.

Tableau 23 : Obtention de la courbe PD agrégée pour la société fictive

N° de l'année	Sinistres directs modélisés (\$)	Rang	Probabilité de dépassement	Périodicité
3782	139 643 617	1	0,01 %	10 000
3513	129 084 766	2	0,02 %	5 000
1043	96 579 686	3	0,03 %	3 333
4886	95 703 031	4	0,04 %	2 500
5768	88 055 675	5	0,05 %	2 000
2712	87 732 403	6	0,06 %	1 667
8976	85 628 571	7	0,07 %	1 429
2209	83 131 713	8	0,08 %	1 250
...
9453	45 448 618	100	1,00 %	100
...
9 532	0	10 000	100,00 %	0

Selon le tableau 23, la VaR 1 % est égale à 45 448 618 \$.

TVaR Θ = moyenne de tous les résultats dans le $(1-\Theta)$ centile des pires résultats.

- Avantages
 - Facilité de détermination, incluse dans les résultats du modèle;
 - Reflète intégralement tous les sinistres de la queue de distribution;
 - Mesure de solvabilité liée à la probabilité de défaut ou de ruine;
 - Mesure de risque cohérente.
- Inconvénients
 - Ignore tout le risque de la distribution qui n'est pas spécifique à la queue;
 - Inclut le risque de sinistres qui ne seront probablement pas indemnisés par l'assureur en raison d'une possible insolvabilité;
 - La cohérence n'est pas toujours une préoccupation importante¹⁶;
 - Mesure moins souvent utilisée que l'écart-type et la VaR.

Le calcul de la TVaR Θ est fonction de la courbe PD et s'effectue en calculant la moyenne des sinistres totaux sur toutes les années égales ou supérieures à la probabilité de dépassement de $\Theta\%$.

¹⁶ (Venter, 2010)

Tableau 24 : Obtention de la TVaR agrégée pour la société fictive

N° de l'année	Sinistres directs modélisés (\$)	Rang	Probabilité de dépassement	Périodicité	TVaR (\$)
3782	139 643 617	1	0,01 %	10 000	139 643 617
3513	129 084 766	2	0,02 %	5 000	134 364 192
1043	96 579 686	3	0,03 %	3 333	121 769 356
4886	95 703 031	4	0,04 %	2 500	115 252 775
5768	88 055 675	5	0,05 %	2 000	109 813 355
2712	87 732 403	6	0,06 %	1 667	106 133 196
8976	85 628 571	7	0,07 %	1 429	103 203 964
2209	83 131 713	8	0,08 %	1 250	100 694 933
....	
9453	45 448 618	100	1,00 %	100	60 130 295
....	
9532	0	10 000	100,00 %	0	5 435 490

Selon le tableau 24, la TVaR 1 % est de 60 130 295 \$. On notera que la TVAR 100 % équivaut au SAM du portefeuille, soit 5 435 490 \$.

Outre les mesures plus traditionnelles de la charge de risque décrites précédemment, la plupart des autres méthodes sont théoriques et souvent fondées sur les théories d'évaluation financière en vigueur. Par exemple, les actuaires ont proposé diverses méthodes financières, notamment le modèle d'évaluation par arbitrage et la théorie des options. Ces méthodes, qui analysent les flux monétaires actualisés, ont toujours été utilisées dans le cadre de la tarification du risque d'assurance hors catastrophes dans les branches pour lesquelles le développement des sinistres est long, par exemple les indemnités pour accidents du travail et l'assurance responsabilité automobile. Ces méthodes sont plus compliquées que celles examinées précédemment et les praticiens ont de la difficulté à les mettre en pratique en raison de l'importance du risque non systémique et du manque de données historiques sur les rendements auxquels les investisseurs devraient s'attendre pour ce type de risque. Peut-être que la croissance du marché des obligations catastrophe permettra d'approfondir ces sujets.

Section 8 Conclusion

Pendant nos travaux, nous avons appris que les actuaires de plusieurs assureurs canadiens sondés emploient un large éventail de pratiques de tarification et de souscription. Certains utilisent les résultats des modèles de catastrophe et d'autres non. Même au sein d'un même assureur, diverses méthodes sont employées pour plusieurs types de risque.

Par le présent document, nous avons cherché à combler le manque de connaissances des actuaires qui prennent ou souhaitent prendre en compte les résultats des modèles de catastrophe dans leurs stratégies de tarification et de souscription des assureurs canadiens. Pour ce faire, nous avons exposé une méthode complète de tarification d'un portefeuille de risques d'assurance inondation en utilisant les données de sortie d'un modèle de catastrophe. À l'appui de la méthode proposée, nous en avons démontré la faisabilité en détail en calculant les tarifs d'un portefeuille de risques d'une société en utilisant les résultats d'un véritable modèle de catastrophe.

Plus important encore, nous avons démontré que l'utilisation de modèles de catastrophe pouvait améliorer la méthode de tarification et de souscription mieux que ne le fait la seule utilisation des données historiques sur les sinistres. Voici les avantages d'utiliser les résultats des modèles de catastrophe :

- Corriger les problèmes liés à l'utilisation des données historiques sur les sinistres dans le cas de risques d'événements peu fréquents et susceptibles de provoquer d'importants dommages, car il est peu probable que ces données produisent des taux stables reflétant les sinistres attendus à long terme. Les données historiques sur les sinistres peuvent être rares et périmées et perdent de leur pertinence au fil du temps. Les tendances des risques peuvent changer au fil des ans, de même que le lieu et la concentration des risques d'un assureur.
- Fournir un éventail de scénarios possibles de sinistres catastrophiques, représentatifs de leur probabilité d'occurrence, ce qui donne un aperçu à long terme du risque de catastrophe, qui peut faire l'objet d'une moyenne afin de stabiliser les tarifs.
- Éliminer tout biais d'exposition dans le calcul des facteurs de relativité, à l'aide d'un ensemble hypothétique de polices appelées données d'exposition notionnelle. Les modèles de catastrophe présentent une capacité accrue de produire des manuels de tarification qui tiennent compte de plusieurs facteurs et qui sont meilleurs pour créer des différentiels de taux.
- Éliminer les contraintes d'évaluation des sinistres uniquement en fonction des expositions réelles, telles qu'un portefeuille de polices en vigueur. Les expositions nominales peuvent faire l'objet d'une modélisation, ce qui donne une idée des sinistres prévus à l'égard d'un ensemble d'expositions potentielles pour une société.
- Assurer une plus grande exactitude et une plus grande stabilité des charges de risque et des mesures de réassurance.

La méthode proposée et l'exemple donné dans le présent document fournissent aux assureurs une analyse détaillée et robuste de la tarification. De plus, nous avons fait des commentaires sur d'autres éléments que les actuaires chargés de la tarification doivent prendre en considération s'ils veulent améliorer ou mettre en application des méthodes semblables. Les circonstances particulières de chaque société diffèrent.

Du fait qu'ils produisent un vaste ensemble d'événements simulés, les modèles de catastrophe sont un moyen efficace d'étudier les probabilités d'événements de queue de distribution, la fréquence et la sévérité des événements les moins susceptibles d'avoir été observés dans le passé. Des milliers d'événements que l'on peut raisonnablement prévoir, mais qui n'ont jamais été observés, peuvent être inclus dans le catalogue des événements. L'analyse de sensibilité est l'un des avantages de travailler en étroite collaboration avec un modèle de catastrophe.

Dans l'ensemble, la modélisation des catastrophes donne une représentation plus complète des risques de catastrophe, aidant ainsi les sociétés à fixer les tarifs et à gérer le risque et ses nombreuses dimensions.

Bibliographie

- Actuarial Standards Board (États-Unis). Standards of Practice, mai 2011.
- Bureau d'assurance du Canada. « La gestion financière du risque d'inondation », 2015.
- Burger, G., Fitzgerald, B. E., White, J. et Woods, P. « Incorporating a Hurricane Model into Property Ratemaking », 1996.
- Burke, K. « Incorporating a Primary Insurer's Risk Load into the Property Rate », 2009.
- Conseil des normes actuarielles (Canada). Normes de pratique, janvier 2017.
- Dixon, L., Clancy, N., Seabury, S. A. et Overton, A. « The National Flood Insurance Program's Market Penetration Rate: Estimates and Policy Implications », Santa Monica, Californie, RAND Corporation, 2006.
- Hardy, M. « An Introduction to Risk Measures for Actuarial Applications », 2016.
- Kreps, R. « Reinsurer Risk Loads from Marginal Surplus Requirements », 1990.
- Mahler, H. C. et Dean, C. G. « Foundations of Casualty Actuarial Science », chapitre 8 : Credibility, Casualty Actuarial Society, 2001.
- Robbin, I. « Catastrophe Pricing: Making Sense of the Alternatives », 2013.
- Sécurité publique du Canada. « Lignes directrices sur les Accords d'aide financière en cas de catastrophe », Ottawa, 2007.
- Smith, R. « Deluge of repeat claims for NFIP ». Consulté le 25 juillet 2017 sur le site Web d'Insurance Business America : <https://www.insurancebusinessmag.com/us/news/catastrophe/deluge-of-repeat-claims-for-nfip-73951.aspx>
- Venter, G. G. « Non-tail Measures and Allocation of Risk Measures », 2010.
- Walters, M. A. et Morin, F. « Catastrophe Ratemaking Revisited: Use of Computer Models to Estimate Loss Costs », 1996.
- Werner, G. et Modlin, C. « Basic Ratemaking », 2009.

Annexe A — Questions du sondage auprès des assureurs canadiens

Voici le questionnaire du sondage sur les pratiques actuelles de tarification des catastrophes des assureurs canadiens.

1. Veuillez décrire vos pratiques actuelles de tarification des catastrophes.
 - a. Quels risques étudiez-vous? Vos méthodes diffèrent-elles d'un risque à l'autre?
 - b. Utilisez-vous des données d'expérience historiques? Si oui, combien d'années d'expérience, et comment faites-vous pour ajuster ces données aux niveaux actuels?
 - c. Utilisez-vous un modèle de simulation de catastrophes dans votre activité de tarification? Si non, avez-vous songé à utiliser le modèle d'un tiers? Pourquoi?
 - d. Comment les nouveaux risques, les nouvelles régions ou les nouvelles branches d'assurance sont-ils gérés lorsque les données d'expérience/exposition sont insuffisantes?
 - e. Depuis combien de temps utilisez-vous la méthode actuelle?
 - f. Prévoyez-vous apporter des changements à la méthode actuelle?
 - g. Quels sont les problèmes ou difficultés que posent vos pratiques actuelles?
 - h. Prenez-vous en compte une provision explicite pour le coût du capital que vous détenez en cas de catastrophe? Si oui, de quelle façon?
2. Comment gérez-vous et surveillez-vous le risque de catastrophe dans votre portefeuille d'assurance? Quels mécanismes de transfert du risque utilisez-vous? Comment gérez-vous le risque de concentration?
3. Comment intégrez-vous de nouvelles exigences de capital pour risque de catastrophe dans vos activités de tarification?
4. Comment le risque de catastrophe est-il intégré à vos décisions et processus en matière de souscription?
5. Si le document de recherche devait donner un exemple de modélisation du risque de catastrophe avec des données de l'industrie ou des sociétés, y a-t-il un risque ou une région particulière du pays que vous aimeriez le plus voir?
6. Certains modèles de catastrophe n'ont pas de composante spécifique au Canada pour le moment. Le document de recherche serait-il plus utile pour vous s'il donnait un exemple utilisant les résultats réels d'un modèle canadien de catastrophe pour un risque particulier (p. ex., le vent) ou bien s'il utilisait les résultats d'un modèle américain comme substitut pour un risque particulier (inondation)?
7. Qu'aimeriez-vous faire pour intégrer les résultats des modèles de catastrophe dans vos activités de tarification que vous ne faites pas à l'heure actuelle? Si des outils pouvaient être facilement accessibles, que recherchiez-vous pour améliorer vos capacités dans ce domaine?

Annexe B — Sommaire des ouvrages consultés

Voici la liste des ouvrages consultés dans le cadre des recherches effectuées pour le projet (les noms des auteurs sont indiqués entre parenthèses), ainsi qu'un court résumé de chacun d'entre eux.

1. Normes de pratique (Conseil des normes actuarielles, Canada)

Il s'agit des normes de pratique applicables aux actuaires œuvrant dans le domaine des assurances IARD au Canada. Elles portent notamment sur l'établissement de réserves, les rapports financiers et la tarification. La section 2600 traite de la tarification.

2. Actuarial Standards of Practice (Actuarial Standards Board, États-Unis)

Les *Actuarial Standards of Practice* (ASOP) suivantes, qui s'appliquent aux actuaires américains, ont été consultées, et plus particulièrement les parties portant sur la tarification des assurances IARD :

- a. ASOP 1 Introductory Standard of Practice
- b. ASOP 12 Risk Classification in P&C Ratemaking
- c. ASOP 29 Expense Provisions in P&C Ratemaking
- d. ASOP 38 Using Models Outside the Actuary's Area of Expertise
- e. ASOP 39 Treatment of Catastrophe Losses in Property/Casualty Insurance Ratemaking

3. Statement of Principles Regarding Property and Casualty Insurance Ratemaking (Casualty Actuarial Society)

Ce document énonce et décrit les principes applicables à la détermination et à l'examen des tarifs d'assurances IARD. Il comporte des définitions des termes et traite de considérations relatives aux principes de tarification. Il s'agit d'un court ouvrage (4 pages) qui initie le lecteur à la tarification.

4. A Modern Architecture for Residential Property Insurance Ratemaking (John W. Rollins)

L'auteur soutient que l'obsolescence du cadre de tarification est l'une des causes de la mauvaise performance financière des produits d'assurance de biens résidentiels. Selon lui, il est essentiel d'améliorer l'efficacité et l'équité des plans statistiques et des plans de tarification pour assurer la viabilité de ces produits. L'auteur propose un cadre et des techniques de tarification des produits d'assurance habitation dans un État frappé par les ouragans.

5. Catastrophe Pricing: Making Sense of the Alternatives (Ira Robbin)

Ce document examine différentes façons de tarifier les garanties de catastrophe pour les traités de réassurance et les comptes d'assurance. Bien que toutes les méthodes utilisent des statistiques du modèle de simulation des sinistres catastrophiques, elles utilisent des statistiques et des algorithmes différents pour obtenir les tarifs indiqués. Cet ouvrage présente au lecteur les fondements conceptuels et donne des idées pratiques pour comprendre les méthodes alternatives.

6. Catastrophe Ratemaking Revisited: Use of Computer Models to Estimate Loss Costs (Michael A. Walters et François Morin)

L'évolution récente de la technologie informatique a sensiblement modifié le fonctionnement des activités d'assurance. L'accès facile à de grandes quantités de données a rendu obsolètes certaines limites traditionnelles de tarification. L'émergence de la simulation de catastrophes à l'aide de la modélisation informatique a aidé les actuaires à élaborer de nouvelles méthodes pour mesurer le risque de catastrophe et en tenir compte dans les taux d'assurance. Ce document traite de questions associées à ces méthodes et permet aux actuaires, aux tarificateurs et aux organismes de réglementation de bien comprendre les caractéristiques et les avantages de la modélisation informatique aux fins de la tarification des catastrophes.

7. Financial Pricing Models for Property-Casualty Insurance Products: The Target Return on Capital (Sholom Feldblum et Neeza Thandi)

Ce document explique en détail comment les modèles d'évaluation financière peuvent servir à tarifier les risques d'assurances IARD. Il passe en revue plusieurs exemples pour illustrer le fonctionnement de l'approche.

8. Incorporating a Hurricane Model into Property Ratemaking (George Burger, Beth E. Fitzgerald, Jonathan White et Patrick B. Woods)

Ce document explique les procédures utilisées pour intégrer un modèle d'ouragan à l'établissement des coûts des sinistres de l'État pour les biens des particuliers et des entreprises. Il explique pourquoi la modélisation devrait être utilisée pour estimer les sinistres d'ouragan et traite des procédures et des éléments du processus de tarification.

9. Reinsurer Risk Loads from Marginal Surplus Requirements (Rodney Kreps)

Cet ouvrage fournit au lecteur une analyse de l'utilisation du rendement du surplus marginal engagé pour couvrir la variabilité d'un projet de contrat de réassurance.

10. The Competitive Market Equilibrium Risk Load Formula for Catastrophe Ratemaking (Glenn G. Meyers)

Les sinistres catastrophiques causés par l'ouragan Andrew et le tremblement de terre de Northridge incitent de nombreux actuaires à revoir leurs formules de tarification des contrats d'assurance avec exposition aux catastrophes. Bon nombre de ces formules intègrent les résultats des modèles de simulation informatique pour les catastrophes. Dans un contexte connexe, de nombreux assureurs utilisent un système d'information géographique pour surveiller la concentration de leurs activités dans les régions sujettes à des sinistres catastrophiques. Bien que les assureurs souhaitent diversifier leur exposition, le consommateur d'assurance n'est pas diversifié sur le plan géographique. Par conséquent, les assureurs doivent assumer un plus grand risque pour répondre à la demande d'assurance. Ce document propose une formule de calcul de la charge de risque qui utilise un modèle de simulation informatique pour les catastrophes et qui considère la concentration géographique comme la principale source de risque.

11. Basic Ratemaking (Geoff Werner et Claudine Modlin)

Cet ouvrage fait partie des ouvrages essentiels à lire pour la préparation aux examens de la Casualty Actuarial Society. Il décrit les techniques qu'utilisent les actuaires dans le processus de tarification. Le chapitre 6 porte sur les sinistres utilisés dans le processus de tarification et comporte une partie sur les catastrophes.

12. Atmospheric Perils Megadisaster Year in Canada – Are You Prepared? (AIR Worldwide)

Cet article donne un aperçu et une analyse des sinistres simulés liés à des catastrophes découlant de trois risques atmosphériques au Canada, à savoir les cyclones tropicaux, les orages violents et les tempêtes hivernales.

13. Uncertainty in Estimating Commercial Losses – and Best Practices for Reducing It (Dr Vineet Jain)

Cet article de huit pages traite de la complexité inhérente aux biens commerciaux et de la façon dont cette complexité crée de l'incertitude dans les sinistres modélisés. Il recommande une liste de pratiques exemplaires pour estimer les dommages causés aux biens des entreprises, afin de réduire l'incertitude dans la modélisation de ces dommages.

14. Blending Severe Thunderstorm Model Results with Loss Experience Data – A Balanced Approach to Ratemaking (David A. Lalonde)

L'article situe la saison 2011 dans le contexte des sinistres passés et potentiels et traite de la façon dont le modèle d'orages violents d'AIR pour les États-Unis peut être utilisé dans la tarification pour gérer la forte volatilité des sinistres assurés.

Le modèle d'orages violents d'AIR offre une vue fiable et stable des risques graves et permet d'éviter les variations du coût des sinistres attribuables à la volatilité des données d'expérience. Cependant, les données des sociétés sur les réclamations sont très utiles et ne doivent pas être entièrement ignorées non plus. L'approche de tarification adoptée par AIR intègre les deux types et tient dûment compte du risque extrême en plus d'empêcher la volatilité des données géographiques parcellaires.

15. An Analysis of the Underwriting Risk for DFA Insurance Company (Glenn G. Meyers)

Ce document analyse la façon d'évaluer la situation financière d'une société d'assurance, à partir de l'exemple d'une société fictive créé par la CAS en 2001. Cet ouvrage n'est qu'indirectement lié à la modélisation des catastrophes, car il s'agit d'une activité requise pour la structure d'analyse financière dynamique décrite par l'auteur. Son applicabilité à la recherche et au sujet de notre présent document est moindre que celles des autres ouvrages.

16. Report of the Catastrophe Modeling Working Party (GIRO, Vienne, septembre 2006)

Ce document de 60 pages donne une description des modèles de catastrophe, à commencer par leur construction et une chronologie de l'entrée sur le marché des principaux fournisseurs de modèles de catastrophe. Il est question des différences entre les modèles, de même que des données et des limites des modèles. Dans l'ensemble, ce document vise à décrire les divers usages des modèles de catastrophe dans le secteur des assurances et à faire comprendre au lecteur que les modèles doivent être bien compris par les utilisateurs.

17. Catastrophe Exposures & Insurance Industry Catastrophe Management Practices (présentation de l'American Academy of Actuaries)

Cet ouvrage a été produit par l'American Academy of Actuaries en réponse à une demande d'aide technique de la part de la National Association of Insurance Commissioners (NAIC) concernant la façon dont les sociétés d'assurance gèrent les risques de catastrophe et les mécanismes de transfert des risques.

18. Rethinking Catastrophe Risk Management at the Point of Underwriting (Michael Gannon)

Ce court article (trois pages) souligne la nécessité d'une gestion plus complète des risques de catastrophe et insiste sur le fait que cette gestion implique de bien contrôler l'activité de souscription ainsi que la gestion globale du risque de portefeuille.

19. The Role of the Underwriter in Insurance (Lionel Macedo)

Ce document donne un aperçu général du rôle du tarificateur dans le secteur des assurances et décrit brièvement chaque tâche qu'un tarificateur exécute habituellement. La fonction principale d'un tarificateur consiste à créer un grand groupe de risques homogènes pour une société d'assurance, ce qui se fait en évaluant les conditions d'acceptation, en détectant la fausse information de la part des proposants et en classant les risques.

20. Catastrophe Risk Management at the Point of Underwriting (Scott Amussen & Bill Churney)

Cet article plaide en faveur d'un recours accru à la modélisation au moment de la souscription et d'une sophistication de cette modélisation. Les auteurs aboutissent à la conclusion que l'analyse probabiliste des catastrophes a considérablement progressé au point qu'elle peut être intégrée à une activité de souscription entièrement automatisée, ce qui permet au tarificateur de prendre de meilleures décisions en matière de souscription.

Annexe C — Facteurs de relativité de territoire de la société fictive (méthode traditionnelle)

Terr.	Fact. relat.												
1	0,166	205	0,512	409	0,668	613	0,835	817	1,118	1021	1,367	1225	1,773
2	0,189	206	0,512	410	0,670	614	0,835	818	1,118	1022	1,371	1226	1,780
3	0,199	207	0,512	411	0,671	615	0,835	819	1,120	1023	1,374	1227	1,780
4	0,202	208	0,512	412	0,672	616	0,836	820	1,120	1024	1,375	1228	1,782
5	0,220	209	0,513	413	0,672	617	0,838	821	1,121	1025	1,377	1229	1,782
6	0,221	210	0,513	414	0,672	618	0,838	822	1,123	1026	1,381	1230	1,785
7	0,225	211	0,515	415	0,672	619	0,842	823	1,124	1027	1,382	1231	1,786
8	0,226	212	0,516	416	0,673	620	0,842	824	1,125	1028	1,382	1232	1,787
9	0,236	213	0,518	417	0,673	621	0,843	825	1,125	1029	1,384	1233	1,787
10	0,236	214	0,519	418	0,674	622	0,846	826	1,127	1030	1,388	1234	1,788
11	0,237	215	0,519	419	0,675	623	0,846	827	1,129	1031	1,391	1235	1,789
12	0,239	216	0,520	420	0,675	624	0,850	828	1,129	1032	1,392	1236	1,790
13	0,240	217	0,521	421	0,677	625	0,851	829	1,130	1033	1,393	1237	1,791
14	0,243	218	0,522	422	0,677	626	0,855	830	1,130	1034	1,394	1238	1,792
15	0,244	219	0,523	423	0,678	627	0,856	831	1,131	1035	1,396	1239	1,793
16	0,246	220	0,525	424	0,683	628	0,858	832	1,132	1036	1,398	1240	1,793
17	0,246	221	0,525	425	0,683	629	0,859	833	1,133	1037	1,411	1241	1,795
18	0,253	222	0,525	426	0,686	630	0,860	834	1,134	1038	1,413	1242	1,799
19	0,256	223	0,526	427	0,686	631	0,862	835	1,135	1039	1,414	1243	1,801
20	0,263	224	0,526	428	0,686	632	0,863	836	1,136	1040	1,414	1244	1,802
21	0,265	225	0,530	429	0,686	633	0,864	837	1,138	1041	1,415	1245	1,804
22	0,269	226	0,533	430	0,687	634	0,865	838	1,139	1042	1,418	1246	1,805
23	0,273	227	0,536	431	0,687	635	0,865	839	1,139	1043	1,421	1247	1,805
24	0,275	228	0,537	432	0,687	636	0,869	840	1,141	1044	1,421	1248	1,806
25	0,280	229	0,537	433	0,688	637	0,872	841	1,141	1045	1,422	1249	1,808
26	0,282	230	0,537	434	0,688	638	0,874	842	1,141	1046	1,423	1250	1,809
27	0,283	231	0,538	435	0,688	639	0,881	843	1,143	1047	1,424	1251	1,815
28	0,284	232	0,541	436	0,689	640	0,882	844	1,145	1048	1,425	1252	1,816
29	0,284	233	0,543	437	0,689	641	0,883	845	1,145	1049	1,427	1253	1,821
30	0,284	234	0,543	438	0,690	642	0,884	846	1,145	1050	1,427	1254	1,822
31	0,288	235	0,544	439	0,691	643	0,886	847	1,146	1051	1,428	1255	1,825
32	0,288	236	0,544	440	0,691	644	0,887	848	1,147	1052	1,430	1256	1,826
33	0,298	237	0,545	441	0,691	645	0,887	849	1,148	1053	1,431	1257	1,829
34	0,300	238	0,545	442	0,693	646	0,889	850	1,148	1054	1,432	1258	1,829
35	0,303	239	0,546	443	0,694	647	0,890	851	1,149	1055	1,433	1259	1,830
36	0,306	240	0,547	444	0,694	648	0,890	852	1,150	1056	1,435	1260	1,831
37	0,308	241	0,547	445	0,694	649	0,891	853	1,151	1057	1,440	1261	1,839
38	0,308	242	0,548	446	0,695	650	0,891	854	1,154	1058	1,442	1262	1,840
39	0,309	243	0,548	447	0,695	651	0,892	855	1,159	1059	1,445	1263	1,845
40	0,310	244	0,549	448	0,698	652	0,893	856	1,159	1060	1,446	1264	1,846
41	0,310	245	0,549	449	0,698	653	0,893	857	1,160	1061	1,448	1265	1,850
42	0,310	246	0,551	450	0,701	654	0,894	858	1,163	1062	1,451	1266	1,853
43	0,311	247	0,551	451	0,702	655	0,895	859	1,170	1063	1,452	1267	1,854
44	0,312	248	0,552	452	0,703	656	0,896	860	1,170	1064	1,453	1268	1,858
45	0,313	249	0,552	453	0,704	657	0,898	861	1,170	1065	1,454	1269	1,859
46	0,314	250	0,552	454	0,704	658	0,900	862	1,172	1066	1,455	1270	1,863
47	0,314	251	0,553	455	0,704	659	0,903	863	1,173	1067	1,455	1271	1,866
48	0,315	252	0,553	456	0,705	660	0,905	864	1,173	1068	1,457	1272	1,867

Terr.	Fact. relat.												
49	0,315	253	0,553	457	0,705	661	0,905	865	1,173	1069	1,458	1273	1,869
50	0,318	254	0,554	458	0,706	662	0,908	866	1,174	1070	1,458	1274	1,870
51	0,319	255	0,554	459	0,706	663	0,908	867	1,175	1071	1,461	1275	1,870
52	0,320	256	0,555	460	0,708	664	0,909	868	1,176	1072	1,461	1276	1,873
53	0,320	257	0,555	461	0,709	665	0,909	869	1,177	1073	1,461	1277	1,881
54	0,321	258	0,555	462	0,709	666	0,910	870	1,181	1074	1,461	1278	1,885
55	0,322	259	0,555	463	0,710	667	0,911	871	1,181	1075	1,463	1279	1,890
56	0,322	260	0,556	464	0,711	668	0,912	872	1,182	1076	1,465	1280	1,891
57	0,324	261	0,556	465	0,711	669	0,916	873	1,182	1077	1,470	1281	1,894
58	0,327	262	0,558	466	0,711	670	0,919	874	1,183	1078	1,471	1282	1,895
59	0,328	263	0,559	467	0,711	671	0,919	875	1,183	1079	1,471	1283	1,896
60	0,328	264	0,560	468	0,712	672	0,921	876	1,184	1080	1,474	1284	1,897
61	0,329	265	0,561	469	0,715	673	0,922	877	1,186	1081	1,478	1285	1,901
62	0,329	266	0,561	470	0,716	674	0,924	878	1,187	1082	1,479	1286	1,905
63	0,332	267	0,562	471	0,717	675	0,925	879	1,188	1083	1,480	1287	1,906
64	0,335	268	0,563	472	0,717	676	0,925	880	1,195	1084	1,483	1288	1,909
65	0,335	269	0,564	473	0,718	677	0,926	881	1,195	1085	1,484	1289	1,912
66	0,336	270	0,564	474	0,718	678	0,926	882	1,196	1086	1,485	1290	1,913
67	0,337	271	0,566	475	0,718	679	0,927	883	1,196	1087	1,490	1291	1,914
68	0,337	272	0,567	476	0,719	680	0,927	884	1,197	1088	1,490	1292	1,916
69	0,338	273	0,567	477	0,720	681	0,928	885	1,198	1089	1,491	1293	1,916
70	0,338	274	0,567	478	0,720	682	0,928	886	1,198	1090	1,491	1294	1,921
71	0,341	275	0,568	479	0,722	683	0,930	887	1,199	1091	1,492	1295	1,928
72	0,342	276	0,569	480	0,723	684	0,930	888	1,202	1092	1,493	1296	1,928
73	0,343	277	0,572	481	0,726	685	0,930	889	1,202	1093	1,494	1297	1,930
74	0,357	278	0,572	482	0,727	686	0,932	890	1,204	1094	1,496	1298	1,935
75	0,347	279	0,573	483	0,727	687	0,934	891	1,205	1095	1,497	1299	1,938
76	0,350	280	0,574	484	0,727	688	0,935	892	1,206	1096	1,499	1300	1,941
77	0,354	281	0,574	485	0,728	689	0,936	893	1,208	1097	1,502	1301	1,941
78	0,355	282	0,574	486	0,728	690	0,936	894	1,209	1098	1,505	1302	1,943
79	0,355	283	0,575	487	0,728	691	0,938	895	1,211	1099	1,507	1303	1,946
80	0,356	284	0,576	488	0,728	692	0,938	896	1,212	1100	1,508	1304	1,949
81	0,357	285	0,577	489	0,731	693	0,939	897	1,212	1101	1,509	1305	1,950
82	0,359	286	0,577	490	0,734	694	0,943	898	1,212	1102	1,510	1306	1,951
83	0,360	287	0,578	491	0,734	695	0,943	899	1,215	1103	1,515	1307	1,953
84	0,361	288	0,578	492	0,735	696	0,944	900	1,215	1104	1,515	1308	1,960
85	0,361	289	0,578	493	0,735	697	0,945	901	1,216	1105	1,518	1309	1,962
86	0,362	290	0,578	494	0,736	698	0,946	902	1,220	1106	1,519	1310	1,963
87	0,362	291	0,579	495	0,738	699	0,946	903	1,221	1107	1,520	1311	1,966
88	0,362	292	0,579	496	0,739	700	0,947	904	1,221	1108	1,521	1312	1,970
89	0,363	293	0,581	497	0,739	701	0,950	905	1,222	1109	1,522	1313	1,972
90	0,366	294	0,581	498	0,740	702	0,951	906	1,222	1110	1,523	1314	1,974
91	0,366	295	0,582	499	0,741	703	0,951	907	1,223	1111	1,523	1315	1,974
92	0,371	296	0,583	500	0,742	704	0,952	908	1,223	1112	1,524	1316	1,988
93	0,373	297	0,583	501	0,742	705	0,952	909	1,223	1113	1,525	1317	1,989
94	0,374	298	0,584	502	0,743	706	0,953	910	1,223	1114	1,526	1318	1,991
95	0,376	299	0,586	503	0,745	707	0,954	911	1,225	1115	1,529	1319	1,992
96	0,379	300	0,586	504	0,745	708	0,954	912	1,225	1116	1,532	1320	1,999
97	0,380	301	0,587	505	0,747	709	0,955	913	1,227	1117	1,534	1321	1,999
98	0,381	302	0,587	506	0,747	710	0,957	914	1,228	1118	1,536	1322	2,000
99	0,381	303	0,588	507	0,749	711	0,958	915	1,230	1119	1,538	1323	2,002
100	0,382	304	0,589	508	0,749	712	0,963	916	1,231	1120	1,539	1324	2,002

Terr.	Fact. relat.												
101	0,387	305	0,589	509	0,749	713	0,967	917	1,232	1121	1,539	1325	2,004
102	0,387	306	0,590	510	0,749	714	0,967	918	1,233	1122	1,540	1326	2,004
103	0,390	307	0,592	511	0,752	715	0,968	919	1,233	1123	1,541	1327	2,006
104	0,358	308	0,592	512	0,753	716	0,968	920	1,234	1124	1,542	1328	2,006
105	0,720	309	0,592	513	0,754	717	0,970	921	1,234	1125	1,543	1329	2,010
106	0,390	310	0,594	514	0,755	718	0,970	922	1,236	1126	1,548	1330	2,014
107	0,392	311	0,596	515	0,757	719	0,970	923	1,237	1127	1,548	1331	2,027
108	0,393	312	0,598	516	0,758	720	0,970	924	1,237	1128	1,553	1332	2,028
109	0,394	313	0,598	517	0,759	721	0,971	925	1,237	1129	1,554	1333	2,028
110	0,394	314	0,599	518	0,761	722	0,971	926	1,239	1130	1,555	1334	2,033
111	0,394	315	0,599	519	0,761	723	0,978	927	1,240	1131	1,556	1335	2,035
112	0,398	316	0,605	520	0,762	724	0,980	928	1,240	1132	1,558	1336	2,044
113	0,398	317	0,605	521	0,762	725	0,981	929	1,240	1133	1,562	1337	2,046
114	0,401	318	0,605	522	0,762	726	0,981	930	1,245	1134	1,563	1338	2,050
115	0,402	319	0,605	523	0,764	727	0,981	931	1,246	1135	1,564	1339	2,052
116	0,402	320	0,606	524	0,765	728	0,985	932	1,246	1136	1,567	1340	2,053
117	0,403	321	0,607	525	0,765	729	0,986	933	1,246	1137	1,569	1341	2,062
118	0,404	322	0,607	526	0,766	730	0,986	934	1,248	1138	1,575	1342	2,079
119	0,407	323	0,610	527	0,767	731	0,987	935	1,249	1139	1,579	1343	2,085
120	0,396	324	0,613	528	0,768	732	0,989	936	1,251	1140	1,580	1344	2,091
121	0,528	325	0,613	529	0,768	733	0,990	937	1,251	1141	1,584	1345	2,092
122	0,411	326	0,614	530	0,769	734	0,991	938	1,253	1142	1,590	1346	2,092
123	0,412	327	0,615	531	0,769	735	0,992	939	1,253	1143	1,591	1347	2,097
124	0,413	328	0,615	532	0,771	736	0,993	940	1,253	1144	1,592	1348	2,098
125	0,414	329	0,616	533	0,771	737	0,993	941	1,255	1145	1,596	1349	2,106
126	0,414	330	0,616	534	0,771	738	0,995	942	1,256	1146	1,597	1350	2,106
127	0,416	331	0,618	535	0,772	739	0,997	943	1,259	1147	1,597	1351	2,126
128	0,421	332	0,619	536	0,773	740	1,000	944	1,259	1148	1,603	1352	2,129
129	0,422	333	0,619	537	0,774	741	1,003	945	1,260	1149	1,603	1353	2,144
130	0,423	334	0,620	538	0,775	742	1,003	946	1,261	1150	1,610	1354	2,150
131	0,423	335	0,621	539	0,776	743	1,005	947	1,262	1151	1,614	1355	2,152
132	0,423	336	0,622	540	0,776	744	1,007	948	1,262	1152	1,616	1356	2,163
133	0,423	337	0,624	541	0,778	745	1,008	949	1,263	1153	1,617	1357	2,164
134	0,424	338	0,625	542	0,778	746	1,008	950	1,265	1154	1,625	1358	2,167
135	0,426	339	0,625	543	0,779	747	1,010	951	1,266	1155	1,625	1359	2,175
136	0,428	340	0,625	544	0,779	748	1,010	952	1,269	1156	1,626	1360	2,175
137	0,428	341	0,626	545	0,780	749	1,013	953	1,269	1157	1,630	1361	2,181
138	0,429	342	0,628	546	0,780	750	1,021	954	1,269	1158	1,630	1362	2,190
139	0,429	343	0,628	547	0,780	751	1,023	955	1,270	1159	1,630	1363	2,193
140	0,431	344	0,628	548	0,780	752	1,025	956	1,273	1160	1,630	1364	2,194
141	0,434	345	0,629	549	0,782	753	1,027	957	1,273	1161	1,632	1365	2,206
142	0,437	346	0,631	550	0,782	754	1,027	958	1,275	1162	1,633	1366	2,208
143	0,437	347	0,631	551	0,783	755	1,028	959	1,275	1163	1,633	1367	2,222
144	0,440	348	0,631	552	0,784	756	1,028	960	1,276	1164	1,635	1368	2,226
145	0,441	349	0,632	553	0,784	757	1,028	961	1,278	1165	1,645	1369	2,243
146	0,442	350	0,632	554	0,785	758	1,029	962	1,278	1166	1,648	1370	2,248
147	0,442	351	0,633	555	0,787	759	1,031	963	1,279	1167	1,649	1371	2,292
148	0,443	352	0,634	556	0,787	760	1,033	964	1,279	1168	1,649	1372	2,309
149	0,443	353	0,636	557	0,788	761	1,034	965	1,280	1169	1,651	1373	2,325
150	0,444	354	0,636	558	0,788	762	1,035	966	1,283	1170	1,653	1374	2,332
151	0,444	355	0,637	559	0,788	763	1,038	967	1,283	1171	1,654	1375	2,336
152	0,444	356	0,637	560	0,790	764	1,040	968	1,285	1172	1,654	1376	2,363

Terr.	Fact. relat.												
153	0,444	357	0,637	561	0,792	765	1,043	969	1,287	1173	1,661	1377	2,379
154	0,444	358	0,637	562	0,793	766	1,043	970	1,288	1174	1,662	1378	2,384
155	0,444	359	0,638	563	0,793	767	1,047	971	1,288	1175	1,662	1379	2,391
156	0,445	360	0,638	564	0,793	768	1,048	972	1,290	1176	1,666	1380	2,396
157	0,445	361	0,639	565	0,794	769	1,058	973	1,291	1177	1,668	1381	2,401
158	0,446	362	0,639	566	0,794	770	1,060	974	1,291	1178	1,675	1382	2,403
159	0,446	363	0,644	567	0,795	771	1,060	975	1,291	1179	1,677	1383	2,425
160	0,447	364	0,644	568	0,795	772	1,061	976	1,292	1180	1,678	1384	2,438
161	0,448	365	0,644	569	0,796	773	1,062	977	1,292	1181	1,679	1385	2,438
162	0,450	366	0,644	570	0,796	774	1,063	978	1,292	1182	1,689	1386	2,472
163	0,452	367	0,644	571	0,796	775	1,065	979	1,292	1183	1,693	1387	2,496
164	0,454	368	0,645	572	0,797	776	1,066	980	1,293	1184	1,695	1388	2,503
165	0,457	369	0,646	573	0,798	777	1,069	981	1,294	1185	1,696	1389	2,510
166	0,457	370	0,646	574	0,798	778	1,069	982	1,294	1186	1,697	1390	2,516
167	0,458	371	0,646	575	0,798	779	1,070	983	1,296	1187	1,699	1391	2,521
168	0,458	372	0,647	576	0,802	780	1,070	984	1,296	1188	1,699	1392	2,561
169	0,458	373	0,648	577	0,802	781	1,071	985	1,298	1189	1,700	1393	2,571
170	0,460	374	0,648	578	0,804	782	1,072	986	1,298	1190	1,700	1394	2,579
171	0,463	375	0,649	579	0,804	783	1,072	987	1,299	1191	1,701	1395	2,624
172	0,465	376	0,649	580	0,804	784	1,073	988	1,301	1192	1,702	1396	2,629
173	0,466	377	0,650	581	0,805	785	1,074	989	1,305	1193	1,703	1397	2,636
174	0,468	378	0,650	582	0,805	786	1,074	990	1,308	1194	1,703	1398	2,676
175	0,468	379	0,651	583	0,806	787	1,075	991	1,311	1195	1,710	1399	2,676
176	0,468	380	0,651	584	0,806	788	1,076	992	1,314	1196	1,710	1400	2,682
177	0,474	381	0,651	585	0,806	789	1,079	993	1,315	1197	1,715	1401	2,713
178	0,474	382	0,651	586	0,807	790	1,081	994	1,316	1198	1,719	1402	2,726
179	0,475	383	0,652	587	0,808	791	1,081	995	1,317	1199	1,720	1403	2,737
180	0,476	384	0,653	588	0,808	792	1,083	996	1,320	1200	1,721	1404	2,743
181	0,477	385	0,653	589	0,808	793	1,084	997	1,322	1201	1,722	1405	2,753
182	0,477	386	0,654	590	0,809	794	1,087	998	1,323	1202	1,723	1406	2,762
183	0,477	387	0,654	591	0,810	795	1,090	999	1,324	1203	1,724	1407	2,763
184	0,479	388	0,655	592	0,810	796	1,092	1000	1,328	1204	1,727	1408	2,768
185	0,480	389	0,655	593	0,810	797	1,093	1001	1,331	1205	1,728	1409	2,788
186	0,481	390	0,656	594	0,812	798	1,094	1002	1,333	1206	1,729	1410	2,791
187	0,482	391	0,656	595	0,813	799	1,097	1003	1,334	1207	1,732	1411	2,792
188	0,483	392	0,657	596	0,814	800	1,102	1004	1,337	1208	1,733	1412	2,798
189	0,485	393	0,657	597	0,816	801	1,103	1005	1,338	1209	1,735	1413	2,801
190	0,486	394	0,658	598	0,818	802	1,103	1006	1,338	1210	1,737	1414	2,872
191	0,492	395	0,658	599	0,818	803	1,104	1007	1,343	1211	1,742	1415	2,951
192	0,493	396	0,660	600	0,819	804	1,104	1008	1,344	1212	1,744	1416	2,960
193	0,497	397	0,660	601	0,819	805	1,104	1009	1,346	1213	1,744	1417	3,069
194	0,497	398	0,660	602	0,819	806	1,105	1010	1,346	1214	1,744	1418	3,138
195	0,498	399	0,661	603	0,823	807	1,106	1011	1,349	1215	1,744	1419	3,162
196	0,498	400	0,661	604	0,823	808	1,106	1012	1,356	1216	1,748	1420	3,296
197	0,498	401	0,662	605	0,824	809	1,106	1013	1,358	1217	1,749	1421	3,433
198	0,501	402	0,663	606	0,826	810	1,106	1014	1,359	1218	1,755	1422	3,634
199	0,502	403	0,663	607	0,826	811	1,111	1015	1,360	1219	1,756	1423	3,874
200	0,506	404	0,663	608	0,827	812	1,113	1016	1,360	1220	1,757	1424	3,954
201	0,506	405	0,665	609	0,829	813	1,115	1017	1,361	1221	1,758	1425	4,750
202	0,507	406	0,666	610	0,829	814	1,115	1018	1,363	1222	1,762		
203	0,510	407	0,667	611	0,831	815	1,116	1019	1,364	1223	1,763		
204	0,511	408	0,667	612	0,834	816	1,116	1020	1,364	1224	1,766		

