



**Institut
canadien
des actuaires**

**Canadian
Institute
of Actuaries**



Rapport final – Subvention pour la recherche universitaire (SRU) de l'ICA

Document 223055

Introduction

L'Institut canadien des actuaires (ICA) se consacre à la promotion et au soutien de la recherche universitaire dans le domaine actuariel. En finançant des projets de recherche, l'ICA joue un rôle crucial dans l'avancement de la compréhension des questions actuarielles complexes qui touchent les particuliers, les entreprises et les gouvernements partout au Canada.

Dans ce rapport, nous présentons des résumés des subventions de recherche que l'ICA a accordées au cours des dernières années, couvrant un large éventail de sujets actuariels tels que l'équité intergénérationnelle dans le domaine des régimes de retraite professionnels, l'élaboration d'un cadre de risque holistique pour les fonds distincts impliquant la couverture, ainsi que l'étude de l'incidence de la consolidation des régimes de retraite.

Ces projets de recherche représentent une contribution importante à la profession actuarielle et notre financement a joué un rôle déterminant dans le soutien de cet important travail. En fournissant des ressources financières et un soutien aux chercheurs et chercheuses, nous avons contribué à faire en sorte que les Canadiens et Canadiennes aient accès aux meilleurs conseils financiers possibles et que leur avenir financier soit assuré.

Table des matières

| | |
|--|----|
| Introduction | 2 |
| Indicateurs modernes de l'équité intergénérationnelle des régimes de retraite professionnels | 4 |
| Une approche holistique de l'optimisation de la couverture et du calcul des exigences de fonds propres à l'égard des fonds distincts | 6 |
| Estimation efficace et robuste du maximum de vraisemblance du paramètre d'épaisseur de la queue de la loi de Pareto | 7 |
| Quantification des conséquences des fusions de régimes de retraite sur le bien-être général | 8 |
| Incidence des changements climatiques sur les projections de précipitations fondées sur des mesures de risque, aux fins de l'évaluation des catastrophes naturelles assurables sous-jacentes | 10 |
| Forêts de transformation pour la modélisation du risque d'assurance automobile | 11 |

Indicateurs modernes de l'équité intergénérationnelle des régimes de retraite professionnels

| | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Année du versement de la SRU | 2018 |
| Montant de l'accord | 20 000 \$ |
| Chercheuse principale | Barbara Sanders |
| Établissement | Université Simon Fraser |

Objectif du projet de recherche

L'équité intergénérationnelle constitue depuis longtemps un élément important de la gestion des programmes de sécurité sociale et des groupes de contrats de rente, mais jusqu'à tout récemment, elle avait reçu relativement peu d'attention du milieu des régimes de retraite professionnels. Au fur et à mesure que l'intérêt pour les régimes de retraite à risques partagés continuera de croître, l'équité intergénérationnelle deviendra de plus en plus importante.

Trois facteurs nuisent gravement à l'instauration d'un dialogue constructif sur l'équité intergénérationnelle : 1) l'absence d'un vocabulaire et de définitions uniformes; 2) le manque de connaissance des indicateurs existants de l'équité intergénérationnelle de la part des praticiens; 3) la faible disponibilité d'indicateurs modernes et prospectifs qui conviennent aux projections stochastiques que la plupart des grands régimes emploient aujourd'hui.

Notre projet de recherche a pour objectif de combler ces lacunes en répertoriant les définitions pertinentes de l'équité intergénérationnelle, en identifiant les indicateurs actuels et en en créant de nouveaux qui conviennent aux applications stochastiques des régimes de retraite professionnels.

Plus précisément, nous avons prévu :

- Effectuer un examen exhaustif des publications, en anglais et en français, dans les domaines de l'actuariat, de l'économie, du travail, de la finance, de l'éthique ainsi que de la politique et de la gestion publiques;
- Recueillir les commentaires des parties prenantes au Canada (actuaire-conseils, chercheurs, décideurs et organismes de réglementation) par le biais d'une série de petites tables rondes et d'entretiens personnels, afin de connaître leur approche de prise en compte de l'équité intergénérationnelle dans la gestion des régimes de retraite;
- Concevoir de nouveaux indicateurs adéquats et démontrer leur utilisation avec un ou plusieurs régimes hypothétiques au moyen d'une simulation stochastique;
- Solliciter des commentaires sur nos résultats à l'occasion de réunions sectorielles (p. ex., Colloque de l'ICA sur les régimes de retraite, assemblée annuelle de la SOA).

Résultats et incidence de la recherche

Dans le cadre de ce projet de recherche, nous avons tenu trois tables rondes avec des praticiens, donné huit présentations lors de conférences universitaires ou sectorielles, produit un rapport (remis à l'ICA) et initié au moins trois étudiants à la recherche en actuariat.

Ces tables rondes ont mobilisé 39 participants et participantes, dont des actuaire-conseils, des promoteurs et des administrateurs de grands régimes de retraite des secteurs public et privé, des actuaire œuvrant avec des syndicats ainsi que des organismes de réglementation et des décideurs. Les tables rondes ont été extrêmement fructueuses : la plupart des personnes que nous avons abordées étaient impatientes d'y participer, les discussions étaient franches et non conflictuelles, toutes les idées étaient mûries et nous avons pu recueillir divers points de vue et expériences. Les commentaires officiels des participants et participantes aux tables rondes ont été très positifs. Tout le monde a eu l'occasion de discuter des diverses significations et des divers aspects de l'équité intergénérationnelle et de les différencier, de songer à la façon dont ces significations se manifestent dans les mesures prises dans la gestion des régimes de retraite, de discuter du lien entre l'équité intergénérationnelle et la réglementation des régimes (y compris le passage à des régimes post-solvabilité dans plusieurs provinces), d'explorer l'interaction entre l'équité intergénérationnelle et la viabilité, et d'examiner différents indicateurs. L'exercice de réflexion combiné à un échange d'idées a apporté à tous les actuaire une meilleure compréhension des choses et devrait faciliter l'instauration d'un meilleur dialogue avec les promoteurs et les décideurs.

L'équipe de recherche a fait des présentations à l'occasion des événements suivants :

- Congrès international des actuaires 2018, Association Actuarielle Internationale, Berlin, Allemagne, juin 2018
 - « Intergenerational Equity in Occupational Pensions: A Risk Management Perspective » (C. Gagné)
 - « Intergenerational Equity: Metrics for Conditional Indexation in Pension Plans » (L. Adam)
- Conférence régionale annuelle ARASQ 2018, Association de la retraite et des avantages sociaux, « Régime de retraite et équité intergénérationnelle : pistes de solutions pour un enjeu complexe et délicat », Pointe-au-Pic, Québec, Canada, septembre 2018 (C. Gagné)
- Vancouver Actuaries Club, « Intergenerational Equity: Metrics for Conditional Indexation in Pension Plans », Vancouver, Colombie-Britannique, octobre 2018 (L. Adam)
- Assemblée annuelle et exposition de 2018 de la Society of Actuaries, Nashville, Tennessee, octobre 2018
 - « Evolution of Intergenerational Equity » (C. Gagné)
 - « Intergenerational Equity: Definitions and Metrics » (B. Sanders)
- 23^e Congrès international sur l'assurance : mathématiques et économie, « Intergenerational Equity in Occupational Pensions: How decision makers define and manage this risk », Munich, Allemagne, juillet 2019

De plus, des étudiants de premier cycle et des cycles supérieurs de trois établissements d'enseignement (Simon Fraser, Université de Montréal et Université Laval) ont participé à la recherche, y compris la revue de la documentation et la modélisation de divers indicateurs.

Si vous désirez en savoir plus sur ce sujet, contactez la chercheuse : Barbara Sanders à bsanders@sfu.ca

Une approche holistique de l'optimisation de la couverture et du calcul des exigences de fonds propres à l'égard des fonds distincts

| | |
|-------------------------------------|----------------------|
| Année du versement de la SRU | 2018 |
| Montant de l'accord | 20 000 \$ |
| Chercheur principal | Frédéric Godin |
| Établissement | Université Concordia |

Objectif du projet de recherche

La proposition initiale faisait état d'un plan visant à élaborer une méthode de couverture des polices de fonds distincts (rentes variables) qui tient compte des multiples sources de risque en pratique : le risque sur actions, le risque de taux d'intérêt, le risque de mortalité, le risque lié au comportement des souscripteurs et le risque de base.

Tout au long du projet, l'étendue de celui-ci a légèrement évolué; bien que nous envisagions toujours un cadre holistique de gestion des risques des fonds distincts avec couverture, qui tient compte de tous les risques susmentionnés, l'accent a été plutôt mis sur l'évaluation du risque et sur sa répartition entre les diverses sources. En effet, en pratique, il importe de distinguer les facteurs de risque importants de ceux qui ont une incidence plus modérée, afin de déterminer où il est nécessaire de déployer des efforts d'atténuation des risques. Nous avons donc utilisé pour notre projet la méthode de décomposition de Shapley à l'égard des profits et pertes et la décomposition d'Euler pour répartir le risque auquel fait face l'assureur qui vend des polices de fonds distincts entre les composantes risque sur actions, risque de taux d'intérêt et risque de mortalité systémique (le risque de base et le risque lié au comportement des souscripteurs étant intégrés à ces catégories). Le procédé est assez souple, car on pourrait facilement l'adapter à d'autres produits d'assurance vie et parce qu'il intègre naturellement les portefeuilles de couverture. De cette façon, nous pouvons d'abord mesurer les facteurs de risque d'une position non couverte, puis quantifier le pourcentage de risque éliminé de toutes les catégories de risque par la constitution d'un portefeuille de couverture pour en évaluer l'efficacité.

Résultats et incidence de la recherche

Le principal résultat du projet de recherche est la rédaction d'un article en vue de sa publication dans une revue universitaire de qualité (probablement le *Scandinavian Actuarial Journal* ou l'*ASTIN Bulletin*). Nous sommes en passe d'y mettre la dernière main avant de l'envoyer. Lorsque l'article sera prêt, nous en présenterons le contenu à l'occasion de conférences universitaires de renom (probablement la Conférence sur la recherche actuarielle, le Congrès international sur l'assurance : mathématiques et économie ou la Société statistique du Canada). Le contenu sera également présenté à l'occasion de conférences de moindre envergure auxquelles certains des auteurs et autrices sont invités. En raison de la COVID-19, le contenu du projet n'a pas encore été bien diffusé et nous souhaitons lui donner plus de visibilité par le biais de conférences et d'entretiens destinés aussi bien au secteur qu'au milieu de la recherche.

La partie du financement déjà reçue a servi au paiement d'une bourse d'études à un étudiant au doctorat. Cet étudiant a effectué des travaux préliminaires utiles sur le sujet (réalisation d'enquêtes bibliographiques, programmation de simulations, etc.), mais nous nous sommes rendu compte qu'il n'était pas tout à fait prêt à réaliser un projet aussi complexe. Ainsi, bien qu'il ne soit pas coauteur de l'article que nous avons produit, il a néanmoins acquis une précieuse expérience qui l'a aidé dans ses autres recherches doctorales. Pour le remplacer, nous avons ensuite fait appel aux services d'un autre ancien étudiant de Patrice Gaillardetz, Edwin Hon-Man Ng. Edwin n'a pas été rémunéré pour son travail, mais il figure comme coauteur en raison de sa participation très fructueuse au projet.

Le projet de recherche a été très riche en résultats et ouvrira fort probablement la voie à la publication de plusieurs autres ouvrages sur la répartition et la gestion des risques en actuariat (fort probablement en assurance vie). De plus, les embûches que nous avons rencontrées en essayant de couvrir le risque de taux d'intérêt constitueront en soi une matière intéressante pour un nouvel article. Deux des auteurs (Patrice Gaillardetz et Frédéric Godin) tireront parti du produit de la recherche dans leur prochaine demande auprès du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada, en en soulignant l'importance.

Si vous désirez en savoir plus sur ce sujet, contactez le chercheur : Frédéric Godin à frederic.godin@concordia.ca

Estimation efficace et robuste du maximum de vraisemblance du paramètre d'épaisseur de la queue de la loi de Pareto

| | |
|------------------------------|---------------------------------|
| Année du versement de la SRU | 2018 |
| Montant de l'accord | 20 000 \$ |
| Chercheur principal | Alain Desgagné |
| Établissement | Université du Québec à Montréal |

Objectif du projet de recherche

Dans ce projet de recherche, nous tenterons de concevoir un nouvel estimateur du paramètre d'épaisseur de la queue de la loi de Pareto qui ne fait pratiquement aucun compromis entre efficacité et robustesse, avec l'une des plus petites primes à payer sur le plan de l'efficacité et l'une des plus grandes protections contre les valeurs aberrantes, en combinaison avec un point de rupture asymptotique de 50 %, soit la proportion de valeurs aberrantes que l'estimateur peut traiter sans être contaminé. En pratique, cela signifie que l'actuaire n'aura qu'à fournir l'ensemble de données, sans avoir à fixer de paramètres pour le niveau de robustesse. Ce dernier sera choisi automatiquement par la méthode d'estimation, ce qui se traduira par un processus simplifié et optimal pour tout ensemble d'échantillons, que ce soit en présence ou en l'absence de valeurs aberrantes. Une analyse de Monte-Carlo sera également effectuée pour comparer la performance de notre estimateur à celle des estimateurs concurrents. Enfin, nous avons l'intention de fournir le code informatique d'un progiciel R afin de maximiser l'incidence de notre projet de recherche et de faciliter sa mise en œuvre dans des applications actuarielles réelles.

Résultats et incidence de la recherche

La principale incidence de ce projet est la publication éventuelle d'un article original dans une revue scientifique à comité de lecture. L'article a déjà été soumis à la revue *TEST*; il a passé la première étape auprès du rédacteur en chef et est en cours de révision par le jury. La subvention de l'ICA est soulignée comme suit dans le document : [traduction] « Nous remercions chaleureusement l'Institut canadien des actuaires de son soutien financier. »

Je compte également rédiger un nouvel article qui sera le pendant bayésien de l'inférence robuste au moyen de la loi de Pareto. Ce travail s'inspirera du projet en cours.

Une autre incidence du projet est la participation à la recherche d'une étudiante de deuxième cycle. Jusqu'à présent, cette étudiante a touché une bourse de 5 000 \$ financée par la subvention de l'ICA. Elle terminait tous ses cours ce semestre et elle a effectué la revue de la documentation. Étant donné qu'elle s'est jointe au projet tardivement et qu'elle n'a pas pu participer à la rédaction de l'article, son projet sera axé sur les applications de données. À mon avis, l'analyse des données réelles est un peu négligée en matière de robustesse et je pense que son projet permettra de combler une lacune dans ce domaine.

Si vous désirez en savoir plus sur ce sujet, contactez le chercheur : Alain Desgagné à desgagne.alain@uqam.ca

Quantification des conséquences des fusions de régimes de retraite sur le bien-être général

| | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Année du versement de la SRU | Sans objet |
| Montant de l'accord | 19 800 \$ |
| Chercheur principal | Jean-François Bégin |
| Établissement | Université Simon Fraser |

Objectif du projet de recherche

Le système des régimes de retraite professionnels est en transition. En ce qui concerne les régimes à prestations déterminées (PD), les promoteurs continuent d'ajuster l'exposition au risque de leur régime. Certains promoteurs se tournent vers des solutions de placement qui améliorent le profil risque-rendement du régime, tandis que d'autres cherchent à transférer le risque aux assureurs au moyen de rentes sans rachat des engagements et de rentes avec rachat des engagements ou choisissent de modifier des éléments constitutifs du régime. Les régimes de retraite conjoints, les régimes à risques partagés et les régimes à prestations cibles sont autant d'exemples d'innovations en matière de conception qui visent à rééquilibrer les coûts et les risques des régimes PD traditionnels.

Une autre solution qui émerge consiste à modifier les profils fiscaux et démographiques des régimes en augmentant le nombre de participants et participantes et en fusionnant avec d'autres régimes. Par exemple, au moins deux grands régimes PD du secteur public au Canada ont ouvert leurs portes à de nouveaux groupes d'employés sans lien professionnel, et trois régimes universitaires canadiens de petite taille ont décidé de fusionner ces dernières années. Un récent sondage réalisé auprès de 50 caisses de retraite canadiennes de taille moyenne ou grande a révélé que 38 % d'entre elles avaient déjà consolidé leurs actifs et leurs passifs en fusionnant avec d'autres régimes et que 44 % songent à le faire ultérieurement (CIBC Mellon, 2021).

Le projet de recherche avait pour but de faciliter la réalisation d'études quantitatives de l'impact de la consolidation de régimes de retraite en élaborant un cadre qui, pour la première fois, tiendrait compte de tous les éléments pertinents du fonctionnement des régimes. Ce cadre comprenait un générateur de scénarios économiques réalistes, un modèle stochastique de mortalité qui tient compte des différences entre les sous-populations, un modèle de coût avec économies d'échelle et une méthode dynamique de répartition de l'actif fondée sur la maximisation de l'utilité. Nous avons construit trois groupes de mesures à l'aide de ce cadre pour quantifier les conséquences des fusions sur la solvabilité des régimes et le bien-être général : les mesures du risque liées au régime qui évaluent les profits du point de vue du capital économique, les mesures fondées sur la consommation afin de bien comprendre les prestations des participants et participantes, et les mesures du risque de cotisation du point de vue du promoteur.

Résultats et incidence de la recherche

À l'aide de notre cadre, nous avons procédé à deux études de cas : 1) une fusion entre trois petites universités ontariennes comptant chacune environ 2 000 participants; 2) une fusion entre un petit régime d'entreprise d'environ 1 000 participants et un grand régime de 50 000 participants, tous deux en Ontario. Dans l'ensemble, nous avons acquis des preuves plus que convaincantes que les fusions sont avantageuses. Dans les deux cas à l'étude, nous avons constaté des améliorations du point de vue du régime, des participants et du promoteur. Ces gains s'expliquent principalement par la réduction des coûts administratifs et d'investissement, par de meilleures stratégies de répartition de l'actif, qui sont en fait optimales, par l'amélioration de l'univers d'investissement qui permet une diversification supérieure et par une meilleure mutualisation des risques de mortalité à mesure que le nombre de participants augmente après la fusion.

Dans certaines circonstances, la fusion pourrait être considérée à la fois comme étant avantageuse sous le prisme d'un indicateur, mais désavantageuse du point de vue d'un autre. Cette constatation a attiré l'attention sur le fait que les fusions ne modifient pas de la même façon les compromis risque-rendement de divers acteurs et elle nous a permis de cerner les situations où cette tension est amplifiée.

Nous croyons que ce projet de recherche peut avoir une incidence importante sur la profession actuarielle, car il donne des indications claires sur l'évaluation des conséquences des fusions de régimes. Les études de cas que nous avons effectuées sont pertinentes sur le plan empirique et cadrent bien avec l'évolution actuelle du paysage canadien des régimes de retraite professionnels : voyez, par exemple, OPTrust et le Régime des CAAT ainsi que le nouveau régime de retraite universitaire de l'Ontario.

Sur le plan des résultats, le projet de recherche a abouti à l'envoi récent d'un article au *North American Actuarial Journal* intitulé « To Merge or Not to Merge? On the Impacts of Pension Plan Consolidation ». Ce manuscrit est l'œuvre conjointe de Barbara Sanders (collègue et cochercheuse participant à ce projet) et de Wenyuan Zhou (maîtrise en actuariat, Université Simon Fraser).

En plus d'avoir participé à la rédaction dudit manuscrit, Barbara Sanders a récemment été invitée à discuter des résultats de ce projet à l'occasion du [Congrès annuel de la Société statistique du Canada 2023](#) à Ottawa, au Canada.

Outre Wenyuan Zhou, un grand nombre d'étudiants et d'étudiantes des premier et deuxième cycles ont reçu du financement dans le cadre de ce projet pour travailler sur diverses composantes du cadre :

- Richard Li (baccalauréat en actuariat, Université Simon Fraser) a effectué, au cours de l'été 2020, une revue de la documentation sur les coûts administratifs et les coûts d'investissement des régimes de retraite. Il a rédigé un rapport interne expliquant ses conclusions, qui a servi de base à la rédaction de la section 2.3 du document « To Merge or Not to Merge? On the Impacts of Pension Plan Consolidation ».
- Yaqi Chen (baccalauréat ès sciences en actuariat, Université Simon Fraser) m'a aidé à créer un nouveau générateur de scénarios économiques qui a été utilisé dans « To Merge or Not to Merge? On the Impacts of Pension Plan Consolidation ». Ses travaux, achevés à l'été 2021, ont joué un rôle déterminant dans la publication de l'article « [On Complex Economic Scenario Generators: Is Less More?](#) » dans l'*ASTIN Bulletin* en 2021.
- Wendy Xu (M. Sc. en actuariat, Université Simon Fraser) a participé activement à l'élaboration du modèle de mortalité utilisé dans « To Merge or Not to Merge? On the Impacts of Pension Plan Consolidation ». Ses travaux ont abouti à l'envoi d'un article au *North American Actuarial Journal* intitulé « Modelling and Forecasting Subnational Mortality in the Presence of Aggregated Data ». Ce manuscrit fait actuellement l'objet de corrections mineures avant d'être soumis à nouveau au NAAJ.

Si vous désirez en savoir plus sur ce sujet, contactez le chercheur : Jean-François Bégin à jbegins@sfu.ca

Incidence des changements climatiques sur les projections de précipitations fondées sur des mesures de risque, aux fins de l'évaluation des catastrophes naturelles assurables sous-jacentes

| | |
|------------------------------|----------------------|
| Année du versement de la SRU | 2020 |
| Montant de l'accord | 20 000 \$ |
| Chercheuse principale | Mélina Mailhot |
| Établissement | Université Concordia |

Objectif du projet de recherche

Au cours des dernières années, plusieurs techniques de combinaison de modèles ont été utilisées dans un large éventail d'applications. Notre objectif était d'étudier l'incidence de la combinaison de modèles sur l'estimation des précipitations extrêmes et des coefficients d'abattement de la pluie (CAP). Les CAP permettent de calculer les précipitations sur une zone à partir d'un seul point de celle-ci. En outre, nous nous sommes intéressés à la variation temporelle des précipitations extrêmes et des CAP.

Résultats et incidence de la recherche

La combinaison de modèles pourrait être utile aux actuaires, car elle leur permettrait d'obtenir de meilleures estimations en combinant les résultats de diverses méthodes et ainsi améliorer les prévisions des tarifs et des réserves.

Les changements dans les précipitations extrêmes peuvent également avoir une forte incidence sur les estimations du risque d'inondations et de pertes agricoles que les actuaires réalisent. Une meilleure modélisation de ces changements grâce à une combinaison de modèles peut améliorer les projections des pertes au moyen d'outils comme l'[Indice actuariel des risques climatiques](#) (en anglais).

Notre travail sera bientôt soumis à publication dans un [numéro spécial](#) des *Annals of Actuarial Science* qui soulignera la contribution de l'Institut canadien des actuaires. L'article sera présenté à l'occasion du [Congrès canadien des étudiants en statistique](#) (CCÉS) dans le cadre d'une séance spéciale intitulée « Graduate Research in Actuarial Science ».

Il s'agissait de la première publication de Sébastien Jessup à titre d'étudiant au doctorat, qui en fera la présentation au CCÉS.

Si vous désirez en savoir plus sur ce sujet, contactez la chercheuse : Mélina Mailhot à melina.mailhot@concordia.ca

Forêts de transformation pour la modélisation du risque d'assurance automobile

| | |
|------------------------------|---|
| Année du versement de la SRU | 2020 |
| Montant de l'accord | 16 500 \$ |
| Chercheur principal | Hong Li |
| Établissement | Université du Manitoba/Université de Guelph |

Objectif du projet de recherche

Cette recherche a pour objectif de proposer un cadre prédictif souple fondé sur une nouvelle catégorie d'algorithme d'apprentissage machine : les modèles de transformation. Les modèles d'assurance proposés qui sont basés sur une transformation combinent les caractéristiques attrayantes des modèles linéaires généralisés traditionnels (intelligibilité, capacité de générer l'ensemble de la distribution prédictive) et des modèles d'apprentissage machine (capacité d'intégrer une structure de dépendance complexe).

Plus particulièrement, les modèles proposés présentent les avantages suivants : 1) ils tiennent compte de la structure de dépendance potentiellement complexe des données d'assurance à l'étude; 2) ils pourraient permettre d'estimer l'ensemble de la distribution prédictive (conditionnelle) de la variable de réponse (fréquence des sinistres, montant des sinistres, etc.) au lieu de simplement produire une prévision ponctuelle; 3) ils offrent une meilleure intelligibilité que les modèles types d'apprentissage automatique.

Les modèles proposés ont diverses possibilités d'application. Par exemple, les prévisions probabilistes permettent à l'utilisateur de calculer diverses mesures du risque, comme la variance, la valeur à risque et l'insuffisance attendue. En outre, la structure des forêts aléatoires héritée peut prendre en compte les dépendances fortement non linéaires entre la variable de réponse et un grand nombre de covariables, de sorte qu'un niveau souhaitable de précision de prédiction peut être garanti.

Nous voulions appliquer les modèles proposés à deux bases de données. La première base de données est constituée de l'ensemble de données françaises sur l'assurance responsabilité civile automobile (MPTL), qui est inclus dans le progiciel R CASdatasets accessible au public (<http://cas.ugam.ca>). L'ensemble de données MTPL contient le nombre de sinistres relatifs à plus de 400 000 polices d'assurance responsabilité civile automobile, ainsi que des informations sur le conducteur, le véhicule, la région, etc. La seconde base de données est l'annexe P de la National Association of Insurance Commissioners, qui comprend des triangles de liquidation, au niveau des assureurs individuels, des sinistres totaux relatifs aux principales branches des assureurs IARD aux États-Unis, et cette base est accessible au public à l'adresse https://www.casact.org/research/index.cfm?fa=loss_reserves_data.

Résultats et incidence de la recherche

Nous avons réussi à créer les modèles basés sur une transformation décrits dans notre proposition. Plus précisément, nous avons créé deux modèles, l'un axé sur des variables de réponse discrètes (fréquence des sinistres) et l'autre sur des variables de réponse continues (montant des sinistres, réserve, etc.). Le seul changement que nous avons apporté, par rapport à la proposition, est que nous avons décidé d'utiliser la machine de simulation proposée par Gabrielli et Wuthrich (2018) pour simuler les réserves pour sinistres, la raison étant que cette machine comprend plus de covariables avec lesquelles nous pouvons mieux évaluer la puissance prédictive du modèle proposé.

Nous avons soumis un rapport final à l'ICA. Nous avons remplacé le titre par « Transformation Models for Insurance Risk Modeling » parce que la réserve pour sinistres ne se rapporte plus à l'assurance automobile. Nous prévoyons soumettre ce document au *Journal of Risk and Insurance* après que nous aurons procédé à des analyses supplémentaires (tests de robustesse, comparaisons avec d'autres méthodes existantes). De plus, nous prévoyons présenter ces travaux dans le cadre du 25^e Congrès international sur l'assurance : mathématiques et économie, en 2022.

Nous croyons qu'outre sa valeur théorique (et une publication éventuelle dans une revue d'actuariat ou d'assurance), ce projet profite aux praticiens et praticiennes en leur fournissant un autre modèle pour établir des tarifs et constituer des réserves pour divers produits d'assurance. Nous l'avons dit, les modèles proposés pourraient à tout le moins servir de complément aux modèles linéaires généralisés et aux méthodes d'apprentissage automatique existants et pourraient être utilisés pour évaluer les résultats prédictifs générés par ces modèles.

Pendant le projet, nous avons fait appel aux services de Zheyu Chen, un assistant de recherche de premier cycle à l'Université du Manitoba. Zheyu a beaucoup aidé à la préparation des données et à la mise en œuvre des modèles. Bien que j'aie dû mettre fin à ses services au printemps 2021, car j'étais sur le point de quitter mon emploi à l'Université du Manitoba et que toutes les subventions étaient gelées, je suis heureux que l'expérience que Zheyu a acquise à titre d'assistante en résidence l'ait motivée à poursuivre une carrière universitaire et qu'elle ait reçu des offres de par le monde pour suivre des études de maîtrise. Elle a accepté en fin de compte l'offre d'un programme de maîtrise de premier plan en actuariat et elle prévoit poursuivre ses études de doctorat par la suite.

Ouvrage de référence

Gabrielli et Wuthrich. « An individual claims history simulation machine », *Risks*, vol. 6, n° 2, 2018.

Si vous désirez en savoir plus sur ce sujet, contactez le chercheur : Hong Li à lihong@uoguelph.ca



© 2023 Institut canadien des actuaires

Institut canadien des actuaires

360, rue Albert, bureau 1740

Ottawa, ON K1R 7X7

613-236-8196

siege.social@cia-ica.ca

cia-ica.ca

voiraudeladurisque.ca



L'Institut canadien des actuaires (ICA) est l'organisme de qualification et de gouvernance de la profession actuarielle au Canada. Nous élaborons et maintenons des normes rigoureuses, partageons notre expertise en gestion du risque et faisons progresser la science actuarielle pour améliorer la vie des gens au Canada et à l'échelle du monde. Nos plus de 6 000 membres utilisent leurs connaissances en mathématiques, en statistiques, en analyse de données et en affaires dans le but de prodiguer des services et des conseils de la plus haute qualité afin d'aider les personnes et les organisations canadiennes à faire face à leur avenir en toute confiance.