

**ÉCOLE
D'ACTUARIAT**

Faculté des sciences
et de génie

**Rapport d'activités
2022-2023
Chaire d'actuariat**

Faculté des sciences et de génie
Chaire d'actuariat



**UNIVERSITÉ
LAVAL**

Présentation

La Chaire d'actuariat de l'Université Laval a été créée afin de consolider le programme de premier cycle en actuariat et de permettre le développement des connaissances par un soutien à l'enseignement et à la recherche. Elle finance des bourses et des activités de formation, de recherche et de rayonnement que l'École désire appuyer et qui ne peuvent être réalisés dans le cadre de son financement direct par l'Université. Année après année, la Chaire poursuit la mission que lui ont confiée ses instigateurs, MM. Gaston Paradis et André Prémont.

Le présent rapport fait état des activités réalisées par la Chaire entre le 1^{er} mai 2022 et le 30 avril 2023 et il dresse l'état des revenus et des dépenses du fonds de capital de la Chaire d'actuariat pour la présente année, ainsi que toutes les activités réalisées en recherche et rayonnement.

L'École et la Chaire d'actuariat sont fières de pouvoir compter sur ses partenaires et ses diplômés qui se distinguent dans leurs domaines respectifs et qui témoignent d'un engagement envers leur *alma mater*. Ces personnes contribuent au rayonnement de l'École et au maintien de sa réputation d'excellence. Par leur geste de générosité, ces personnes ambassadrices sont une inspiration pour les générations futures qu'elles invitent au dépassement.

André Zaccarin
Président du conseil d'administration
Doyen, Faculté des sciences et de génie

Table des matières

1. Présentation de la Chaire d'actuariat	3
1.1 Mandat	3
Formation	3
Recherche	3
Rayonnement	3
Attribution de bourses	3
1.2 Conseil d'administration	4
1.3 Comité scientifique	5
2. Financement de la Chaire	6
3. Activités 2022-2023.....	8
3.1 Budget de fonctionnement	8
1 ^{er} mai 2022 au 30 avril 2023	8
3.2 Bourses d'études	11
1 ^{er} mai 2022 au 30 avril 2023	11
3.3 Soutien à la recherche.....	12
Subvention de recherche 2022-2023	12
Publications et communications	12
3.4 Soutien au rayonnement.....	17
Participation des membres de l'École à des colloques, des congrès et des séminaires.....	17
Séminaires, ateliers et conférences	17
4. Annexes – liste des projets acceptés	18
4.1 Détail des projets de recherche réalisés 2020-2023	18

1. Présentation de la Chaire d'actuariat

1.1 Mandat

Depuis sa création, la Chaire finance des projets que l'École d'actuariat désire mettre en branle et qu'elle ne peut réaliser dans le cadre de son financement direct par l'Université. La Chaire vise à promouvoir quatre types d'activités :

Formation

- Assurer la contribution d'actuaire en exercice à la formation des étudiants de premier cycle ;
- Offrir de la formation continue aux actuaire en exercice ;
- Maintenir la concertation avec le milieu professionnel afin que les programmes des 1^{er}, 2^e et 3^e cycles continuent de répondre à ses besoins.

Recherche

- Distribuer des subventions de recherche fondamentale ou appliquée ;
- Permettre à des étudiants des cycles supérieurs de participer à des congrès ;
- Inviter des professeurs de renom afin de bénéficier de leur expertise et pour l'organisation de cours avancés ponctuels.

Rayonnement

- Organiser des séries de séminaires ;
- Organiser des colloques ou des conférences d'ampleur nationale ou internationale ;
- Accroître la participation des professeurs aux activités des associations professionnelles et des organismes scientifiques.

Attribution de bourses

- Remettre des bourses d'excellence au premier cycle visant à stimuler l'effort sur le plan scolaire et à récompenser la participation aux activités parascolaires ;
- Remettre des bourses de 2^e et 3^e cycles visant à encourager les meilleurs étudiants à poursuivre leurs études aux cycles supérieurs.

1.2 Conseil d'administration

Le conseil d'administration (C.A.) est constitué de quatre représentants de l'Université Laval et de trois représentants de la profession actuarielle. Ces derniers proviennent généralement de donateurs corporatifs majeurs de la Chaire et reflètent les principaux secteurs d'activité de la profession. Tous les mandats au conseil d'administration sont d'une durée de trois ans.

En 2022-2023, le conseil d'administration de la Chaire d'actuariat était composé des personnes suivantes :

M. André Zaccarin

Président du conseil d'administration

Doyen

Faculté des sciences et de génie

M. Charles-Olivier Amédée-Manesme

Professeur titulaire

Faculté des sciences de l'administration

Titulaire de la Chaire d'assurance et de services financiers de l'Industrielle Alliance

Mme Isabelle Girard

Première vice-présidente Lab de donnée et Chef des données

Intact

M. Claude Lamonde

Président

Optimum Gestion de placement

Mme Isabelle Larouche

Professeure agrégée

École d'actuariat

M. Denis Latulippe

Professeur titulaire

École d'actuariat

Mme Itre Mtlai

Analyste principale en actuariat

TD Assurance

1.3 Comité scientifique

En plus du conseil d'administration, la Chaire d'actuariat est aussi dotée d'un comité scientifique de cinq membres nommés par le conseil d'administration. Son mandat est la gestion de l'enveloppe budgétaire de la Chaire dévolue au soutien de la recherche.

Le comité scientifique est composé du président du conseil d'administration de la Chaire ou du directeur des opérations, du titulaire de la Chaire d'assurance et de services financiers l'Industrielle-Alliance, d'un membre de l'Université Laval relié au domaine de l'actuariat et de deux membres externes à l'Université Laval reliés à la profession actuarielle. Tous les mandats au comité scientifique sont d'une durée de trois ans.

En 2022-2023, le comité scientifique de la Chaire d'actuariat était composé des personnes suivantes :

M. Ilie Radu Mitric

Professeur titulaire École d'actuariat
Directeur des opérations de la Chaire d'actuariat

M. Charles-Olivier Amédée-Manesme

Professeur titulaire
Faculté des sciences de l'administration
Titulaire de la Chaire d'assurance et de services
financiers de l'Industrielle Alliance

M. Michel Jacques

Adjoint vice-recteur exécutif
Professeur agrégé
École d'actuariat

M. Michel Hébert

Administrateur
Vice président, Recherche et Développement
Optimum réassurance inc

M. Pierre Plamondon

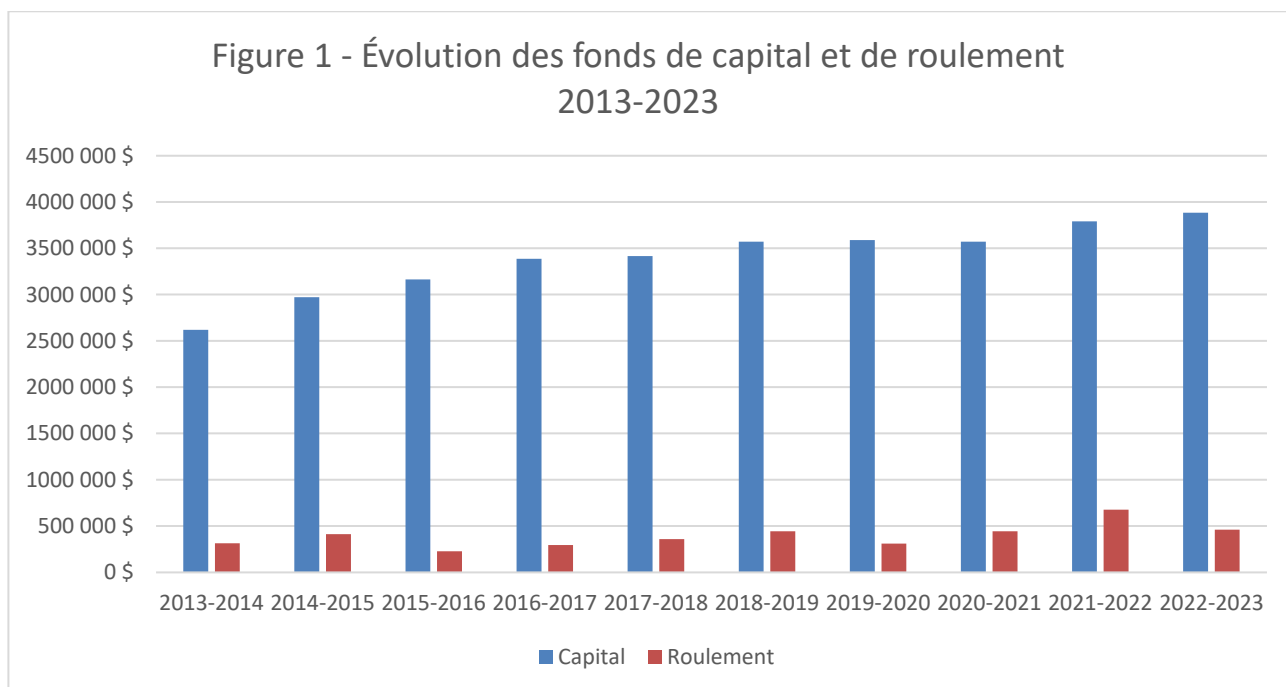
Consultant en actuariat

2. Financement de la Chaire

Les activités de la Chaire sont rendues possibles grâce au fonds 0914 de la Chaire d'actuariat administré par la Fondation de l'Université Laval. Le rapport financier du fonds, fourni par la Fondation, est présenté ci-dessous. Les résultats financiers fournis couvrent la période du 1^{er} mai 2022 au 30 avril 2023.

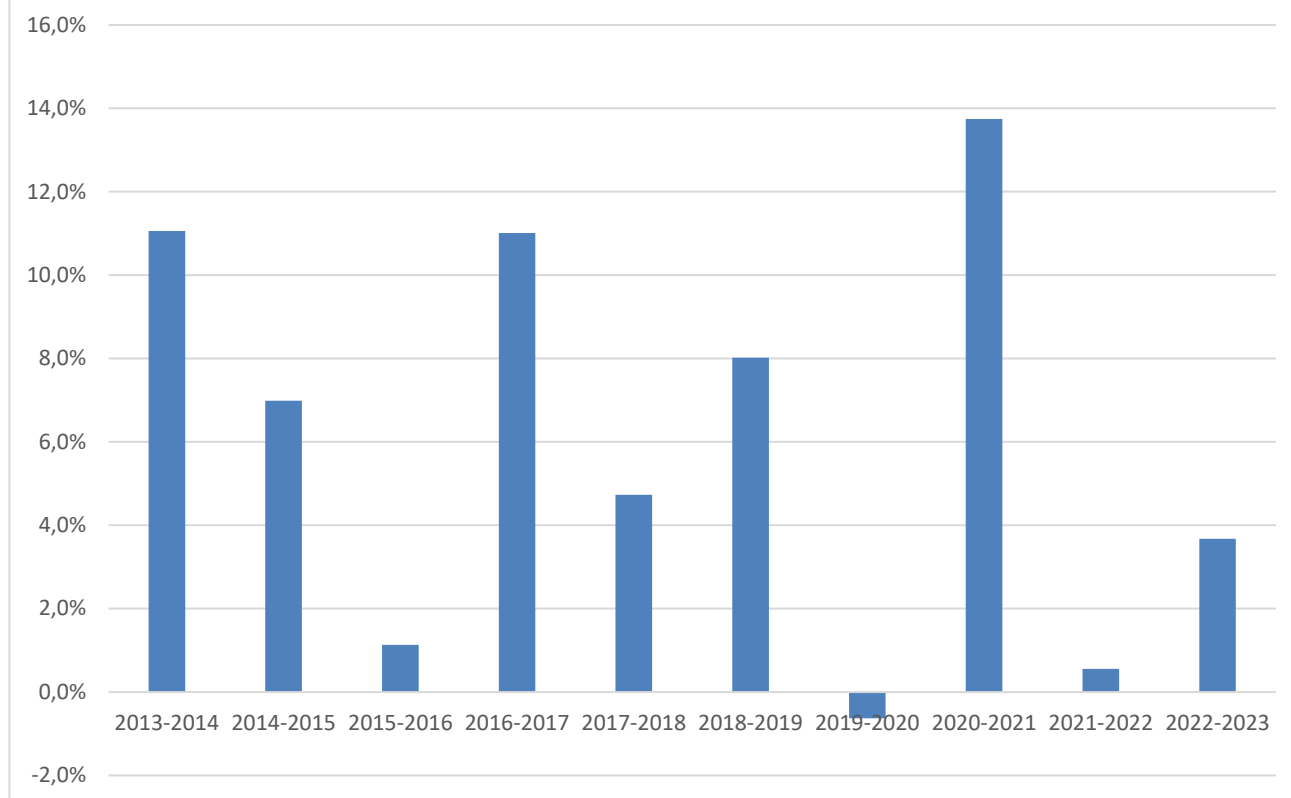
État des revenus et dépenses Pour l'exercice se terminant le 30 avril 2023

	Capital	Roulement	Total
Valeur au 30 avril 2022	3 790 413 \$	676 410 \$	4 466 824 \$
Encaissements de dons	- \$	53 369 \$	53 369 \$
Revenus de placements nets	158 990 \$		158 990 \$
Frais d'administration	(36 842) \$		(36 842) \$
Pouvoir de dépenser	(128 648) \$	128 648 \$	- \$
Subventions versées		(298 314) \$	(298 314) \$
Capitalisation interne	100 000 \$	(100 000) \$	- \$
Interfonds	- \$	- \$	- \$
Autres	- \$	- \$	- \$
Valeur au 30 avril 2023	3 883 913 \$	460 113 \$	4 344 026 \$
Annick Lessard, CPA, CGA			
Le 3 juillet 2023			
No Fonds : 0914			



La figure 2 présente l'évolution du taux de rendement des fonds de capital et de roulement de la Chaire depuis 2013. Ce taux était de 3,7 % au terme de l'exercice 2022-2023. Le taux de rendement net moyen était de 5,8 % pour la période 2020-2023, et de 4,9 % pour la période 2018-2023. Le pouvoir de dépenser est établi à un niveau correspondant à 3,5 % de la valeur du fonds.

Figure 2 - Taux de rendement



Taux de rendement au 30 avril 2023

Période		Taux de rendement net de frais	Pouvoir de dépenser	Taux de rendement excédentaire
2022-2023	(1 an)	3,7 %	3,5 %	0,2 %
2020-2023	(3 ans)	5,8 %	3,5 %	2,3 %
2018-2023	(5 ans)	4,9 %	3,5 %	1,4 %

3. Activités 2022-2023

3.1 Budget de fonctionnement

1er mai 2022 au 30 avril 2023

Pour la période du 1^{er} mai 2022 au 30 avril 2023, la majorité des activités de l'Université Laval et de la Chaire d'actuariat avaient pu reprendre leur cours. Quatre projets de recherche, dont la fin prévue était le 30 avril 2022 et qui avaient pris du retard durant la pandémie, ont été prolongés jusqu'au 30

avril 2023. Trois nouveaux projets avaient également été approuvés lors du dernier conseil d'administration et ont pu démarrer au cours de l'année.

De nouveaux étudiants ont été admis aux cycles supérieurs et nous avons pu verser quelques bourses d'attraction, en plus des bourses d'admission au 1^{er} cycle.

Les professeurs et étudiants ont pu recommencer leurs déplacements professionnels dans les congrès scientifiques pour aller présenter leurs travaux de recherche. La Chaire a également fourni un appui financier à quelques initiatives qui se sont déroulées au Québec.

Pour la période du 1^{er} mai 2022 au 30 avril 2023, un montant de 234 100 \$ avait été budgété et seulement 118 932 \$ ont été utilisés. Le solde budgétaire étant de 100 168 \$. Il est important de mentionner qu'un projet de recherche a été réalisé par un professeur sans étudiant (2020-2022.3), le financement lié à ce projet n'a pas utilisé (20 000 \$). Pour un autre projet de recherche, le professeur n'a pas trouvé de personne étudiante pour le faire, bien qu'il eût déjà obtenu une prolongation pour le réaliser (2022-2023.1). Le professeur a choisi de ne pas réaliser le projet de recherche, le montant de 10 500 \$ qui était associé à ce projet redevient donc disponible. De plus, une somme de 15 000 \$ était également disponible pour des demandes de projets ponctuelles, aucune demande n'a été faite pour l'année en cours.

Pour les bourses, nous avons été en mesure d'offrir près de la moitié de celles-ci. Le détail sera présenté ultérieurement dans ce rapport.

Pour les activités de rayonnement, nous avons bonifié le budget de 5000 \$ pour les projets spéciaux, nous n'avons toutefois obtenu aucune demande pour l'année.

Réalisations budgétaires

1^{er} mai 2022 au 30 avril 2023

	Budget	État des dépenses	Écart (\$)
Activités de recherche	100 600 \$	50 803 \$	34 797 \$
Projets en cours			
2020-2022.1 Hélène Cossette	14 000 \$	14 000 \$	- \$
2020-2022.2 Etienne Marceau	17 000 \$	23 000 \$	(6 000) \$
2020-2022.3 Ilie Radu Mitric	20 000 \$	- \$	20 000 \$
2020-2022.4 Thai Nguyen	10 000 \$	10 000 \$	- \$
Nouveaux projets			
2022-2023.1 Louis Adam	10 500 \$	- \$	10 500 \$
2022-2024.1 Isabelle Larouche	7 500 \$	- \$	7 500 \$
2022-2024.2 Denis Latulippe	6 600 \$	3 803 \$	2 797 \$
Projets spéciaux en cours d'année	15 000 \$	- \$	15 000 \$
Bourses	98 500 \$	51 000 \$	47 500 \$
Doctorat			
Bourse d'attraction Florent Toureille			
Réциpiendaire 2020-2023 (3e année de 3)	10 000 \$	- \$	10 000 \$
Réциpiendaire 2021-2024 (2e année de 3)	- \$	- \$	- \$
Réциpiendaire 2022-2025 (1ère année de 3)	10 000 \$	- \$	10 000 \$
Maîtrise			
Bourses d'attraction			
Réциpiendaires 2021-2023 (2) (1ère année de 2; 2e année de 2)	15 000 \$	7 500 \$	7 500 \$
Réциpiendaires 2022-2024 (3) (1ère année de 2)	22 500 \$	7 500 \$	15 000 \$
Bourses pour les frais majorés (2)	24 000 \$	24 000 \$	- \$
1er cycle			
Bourses d'admission (3)	15 000 \$	10 000 \$	5 000 \$
Bourses des anciens (2)	2 000 \$	2 000 \$	- \$
Frais d'examens professionnels	2 000 \$	2 235 \$	(235) \$
Activités de rayonnement	33 000 \$	14 894 \$	18 106 \$
Colloques et congrès	15 000 \$	9 346 \$	5 654 \$
Séminaires et conférences	5 000 \$	1 500 \$	3 500 \$
Activités étudiantes (congrès, ateliers, etc.)	5 000 \$	4 048 \$	952 \$
Commandites, projets spéciaux, etc.	8 000 \$	- \$	8 000 \$
Budget total	234 100 \$	118 932 \$	100 168 \$

3.2 Bourses d'études

La Chaire offre trois types de bourses aux objectifs différents. Les bourses d'admission visent à attirer des étudiantes et étudiants ayant un dossier d'études supérieur à s'inscrire à un programme d'études de l'École d'actuariat. Pour les cycles supérieurs, la Chaire octroie une bourse d'attraction à la maîtrise de 7 500 \$ par année durant deux ans et la Bourse d'attraction au doctorat Florent Toureille de 10 000 \$ par année durant trois ans. Celle-ci a été créée en l'honneur de M. Florent Toureille, étudiant au doctorat décédé subitement en décembre 2010.

La Bourse pour frais de scolarité majorés vise à attirer des candidats étrangers à la maîtrise ou au doctorat en actuariat. La bourse est constituée de deux versements de 6 000 \$ chacun, soit un à l'automne et un à l'hiver, pour un total de 12 000 \$.

La Bourse des Anciens d'actuariat vise à récompenser les efforts pour améliorer ses résultats scolaires et à souligner l'implication sociale et la participation aux activités de l'Association des étudiants en actuariat (AÉACT). Une bourse de 1 000 \$ est remise à un étudiant de deuxième année et une autre bourse de 1 000 \$ est remise à un étudiant de troisième année.

1^{er} mai 2022 au 30 avril 2023

Au cours de la période 2022-2023, la Chaire d'actuariat devait verser 3 bourses d'admission à des nouveaux étudiants au baccalauréat d'une valeur de 5 000 \$ chacune. Toutefois, il y a eu un léger imbroglio au niveau de l'administration et seulement 2 bourses ont été offertes.

Pour les cycles supérieurs, trois bourses d'attraction à la maîtrise de 7 500 \$ renouvelables sur deux ans étaient disponibles, une bourse d'attraction au doctorat (bourse Florent Toureille) ainsi que 2 bourses pour frais de scolarité majorés. La bourse d'attraction à la maîtrise a été offerte à 3 personnes étudiantes toutefois, 1 seul étudiant a accepté. Les autres ont décliné car ils n'ont pas obtenu tous les papiers nécessaires pour venir étudier au Québec, à l'Université Laval. Malheureusement, aucune candidature admissible n'a été reçue pour la bourse au 3^e cycle.

En plus, deux bourses des Anciens de 1 000 \$ ont été versés.

Le tableau ci-dessous dresse la liste des récipiendaires des bourses de l'année 2022-2023.

Récipiendaires des bourses 2022-2023		
Bourses admission en actuariat		
Ève Busque	5 000	\$
Sandrine Duchesne	5 000	\$
Bourse des Anciens		
Anne-Marie Brisson	1 000	\$
Virginie Jobin	1 000	\$
Bourses d'attraction à la maîtrise (1/3)		
Assane Kholle	7 500	\$

Bourse de maîtrise pour frais de scolarité majorés (2/2)

Mahamadou Maitoure Aboubacar	12 000	\$
Olouwacheun Kougblenou Ogouyomi	12 000	\$
	43 500	\$

3.3 Soutien à la recherche**Subvention de recherche 2022-2023**

En 2022-2023, le comité scientifique a examiné trois demandes de subvention déposées par des professeurs de l'École d'actuariat pour des projets de recherche. Il est important de mentionner que le premier projet se veut une demande de prolongation d'un projet qui avait déjà été approuvé. Les demandes ont entièrement été jugées recevables et ont été financées à la hauteur du budget demandé.

Le tableau suivant identifie les professeurs ayant bénéficié d'une subvention, le titre du projet et le montant accordé. La totalité des fonds accordés est dépensée en contrats d'auxiliaires de recherche pour des étudiants inscrits aux trois cycles d'enseignement.

Professeur(e)s	Nom du projet	Montant accordé
Louis Adam	Mesures d'indexation conditionnelle en lien avec l'équité intergénérationnelle	10 500 \$
Isabelle Larouche	Projet de recherche sur la différenciation homme/femme en actuariat	7 500 \$
Denis Latulippe	<i>Actuarial Stochastic Models for Social Security</i>	6 600 \$
		24 600 \$

Publications et communications

Les subventions de recherche accordées par la Chaire au cours des dernières années ont apporté un soutien essentiel aux activités de recherche des professeurs. En plus de nombreuses publications, des professeurs ont été invités à présenter des communications lors de séminaires et conférences.

Articles scientifiques dans revue avec comité de lecture (publiés et acceptés)

Blier-Wong, C., Cossette, H., Marceau, E. (2023). Generating function methods for efficient computation of expected allocations. *Annals of Operations Research*. Soumis pour publication.

Blier-Wong, C, Cossette, H., Marceau, E. (2022). Stochastic representation of FGM copulas using multivariate Bernoulli random variables. *Computational Statistics and Data Analysis* 173.

Côté, M.-P., Genest, C. & D.A. Stephens (2022) A Bayesian Approach to Modeling Multivariate

Multilevel Insurance Claims in the Presence of Unsettled Claims. *Bayesian Analysis*, 17 (1), 67-93.

Henckaerts, R., Côté, M.-P. & Antonio, K. (2022) When stakes are high: balancing accuracy and transparency with Model-Agnostic Interpretable Data-driven suRRogates. *Expert Systems with Applications*, 202, 117230.

Côté, M.-P., Hartman, B., Mercier, O., Meyers, J., Cummings, J. & E. Harmon (2020). Synthesizing private property/casualty ratemaking datasets using Generative Adversarial Networks. *Variance*, sous presse.

Genest, C. & M.-P. Côté (2021) Pour en finir avec le test de Student. *Bulletin AMQ*, 61 (4), 33.

Mitric, IR., Léveillé, G. (2022) Conditional increments of aggregate discounted claims with trend, *Scandinavian Actuarial Journal*

Thai Nguyen, An Chen, Thorsten Sehner (2022) Unit-Linked Tontine: Utility-Based Design, Pricing and Performance, *Risks*, 10(4), 78,

Articles scientifiques dans revue avec comité de lecture (soumis ou en cours de révision)

Blier-Wong, C., Cossette, H., Lamontagne, L., Marceau, E. (2022). A representation-learning approach for insurance pricing with images.

Michaelides, M., Cossette, H., Pigeon, M. (2023). Individual loss reserving using activation patterns. *European Actuarial Journal*. Sous revision.

Mitric, R., Léveillé, G. (2023) Conditional increments of aggregate discounted claims with trend (avec G. Léveillé)

Nguyen, T (2023) Forward BSDEs and backward SPDEs for utility maximization under endogenous pricing (avec Mitja Stadje , en revision), *Annals of Applied Probability*.

Nguyen, T., Wa Ng, T., Portfolio performance under benchmarking relative loss and portfolio insurance: from Omega ratio to loss aversion. Revised and resubmitted to *ASTIN Bulletin*

Nguyen, T, Chen, A., Branger, N., Mahayni, A. Optimal collective investment: an individual welfare analysis. Revised and resubmitted to *Mathematics and Financial Economics*.

Nguyen, T., Stadje, M. M Forward BSDEs and backward SPDEs for utility maximization under endogenous pricing. Revised and resubmitted to *Annals of Applied Probability*.

Nguyen, T., Stadje, M , Dehm, C. Non-concave expected utility optimization with uncertain time horizon (with Mitja Stadje and Christian Dehm), in revision at *Applied Mathematics and Optimization*.

Nguyen, T., Branger, N., Chen, An, Mahayni, A., Optimal collective investment: an analysis of individual welfare, *Mathematics and Financial Economics*

Power, J., Côté, M.-P & T. Duchesne (2023) A flexible hierarchical insurance claims model with gradient boosting and copulas. Soumis (en révision).

Autres publications

Adam, L. Intergenerational Equity: Metrics For Conditional Indexation In Pension Plans En cours

Adam, L. Intergenerational Equity: Definition, Measurement and Management of Intergenerational Equity En cours

Adam, L. Valeur actualisée de rente de diverses formes par approche de flux financiers En cours

Blier-Wong, C., Cossette, H., Legros, S., & Marceau, E. (2022). A new method to construct high-dimensional copulas with Bernoulli and Coxian-2 distributions. *Journal of Multivariate Analysis*, Soumis pour publication. arXiv preprint arXiv:2209.13675. En cours

Blier-Wong, C., Cossette, H., Marceau, E., Robert, C.Y. (2022). On high-dimensional FGM copulas with tree-structured Ising graphical models. En cours

Blier-Wong, C., Cossette, H., Lamontagne, L., Marceau, E. (2022). Homeowners insurance ratemaking with images. En cours

Bilodeau, Claire. Mathématiques financières (livre). En cours

Côté, O., Côté, M.-P. & A. Charpentier. A practical methodology for constructing a non-discriminatory general insurance tariff on a specified sensitive variable. *En cours*.

Erramaline, A., Badard T. & M.-P. Côté (2021) Characterization of risky school zones from insurance telemetry data. *En cours*.

Fossouo Tadjuidje, A.R., Cossette, H. & M.-P. Côté. Modèle distributionnel de micro-réserves en assurance auto. *En cours*.

Michaelides, M., Pigeon, M., Cossette, H. (2022). Individuals claims reserving with dependent censored data. En cours

Mitric, I R. Risk measures for ruin models incorporating interest rate En cours

Mitric, I.R. Properties of a risk measure for ruin models derived from the Laplace transform of the ruin time En cours

Thai Nguyen, Duy Nguyen et Huy Ngoc Chau Robust approximate hedging with transaction costs in regime switching models. En cours

Thai Nguyen, An Chen, Linyi Qian, et Zhixin Yang Optimal consumption incorporating health risk. En cours.

Thai Nguyen, An Chen et Peter Hieber Pareto-optimal investment in an equity-linked life insurance contract with minimum return guarantee. En cours

Communications

Marceau, É. Collective Risk Models with FGM Dependence. : 2022 Actuarial Research Conference, Urbana-Champaign, United States, 2022-07, Conférencier

Marceau, É. Collective Risk Models with FGM Dependence. : 25th (2022) International Congress on Insurance: Mathematics and Economics (virtual), Sydney, Australia, Conférencier

Côté, M-P. Journée sur l'éthique et la discrimination en assurance 2022. Organisation de la conférence et mot d'introduction, 2022-05-13

Marceau, É. Collective Risk Models with FGM Dependence. Conférencier : 25th (2022) International Congress on Insurance: Mathematics and Economics (virtual), Sydney, Australia

Larouche, I. L'éducation en actuariat. Colloque de l'association des actuaires en IARD, virtuel, 2021.

Latulippe, D. Transition travail-retraite Différentes politiques, différents résultats, 2020, Avantages, Montréal

Latulippe, D. Projections financières stochastiques à long terme : Le cas du Régime québécois d'assurance parentale, 2020, Université Laval, Québec.

Mitric, I.-R. Conditional increments of aggregate discounted claims with trend, 24th International Congress on Insurance: Mathematics and Economics IME, virtuel, 2021.

Nguyen, T. Non-concave expected utility optimization with uncertain time horizon, 24th International Congress on Insurance: Mathematics and Economics, virtuel, 2021.

Nguyen, T. Optimal consumption incorporating health risk, 24th International Congress on Insurance: Mathematics and Economics, virtuel, 2021.

Communications sur invitation

Marceau, É. Lundberg–Aumann–Serrano index of riskiness and ruin-based risk measures : Séminaire de recherche du Laboratoire SAF (ISFA, Université Lyon), Lyon, France, 2022-03, Conférencier invité

Marceau, É. Lundberg–Aumann–Serrano index of riskiness and ruin-based risk measures : 53^{èmes} Journées de Statistique de Société Française de la Statistique, Lyon, France, 2022-06, Conférencier invité

Côté, M-P. A Bayesian Approach to Modeling Multivariate Multilevel Insurance Claims in the Presence of Unsettled Claims. World Meeting of the International Society of Bayesian Analysis (ISBA), Montréal. 2022-06-29. Auteure et conférencière invitée.

Côté, M-P. Participation à la webémission de cScienceIA « Pourquoi la région de Québec brille-t-elle? ». 2022-03-28. Conférencière invitée.

Côté, M-P. Micro-level reserving for general insurance claims using a Long Short-term Memory network. 3rd UCSB InsurTech Summit, University of California in Santa Barbara, en ligne. 2022-01-28.
Conférencière invitée.

Nguyen, T. Risk management under weighted limited expected loss: Optimal policies and equilibrium implications, Canadian Operational Research Society Annual Conference, 2021.

3.4 Soutien au rayonnement

Participation des membres de l'École à des colloques, des congrès et des séminaires

Le tableau suivant nous liste les personnes ayant reçu des fonds de la Chaire afin de participer activement à des congrès, colloques scientifiques ou professionnels en 2022-2023.

	Activité	Coût
Marie-Pier Côté	<i>International Society of Bayesian Analysis (ISBA) World Meeting, 26 juin au 1er juillet 2022, Montréal</i>	1 864 \$
Isabelle Larouche	<i>Actuarial Teaching Conference, 7 au 9 août 2022, Chicago, Illinois</i>	1 970 \$
Christopher Blier-Wong, candidat au doctorat	<i>Actuarial Teaching Conference, 2 au 6 août 2022, Chicago, Illinois</i>	2 486 \$
Christopher Blier-Wong, candidat au doctorat	<i>2022 Annual Meeting de la CAS, 6 au 9 novembre 2022, Minneapolis, Minnesota</i>	3 025 \$
		9 345 \$

Séminaires, ateliers et conférences

En plus du soutien apporté à la participation du corps professoral et des étudiants de l'École à des congrès nationaux et internationaux, la Chaire a appuyé, à la hauteur de 5 548 \$ des activités de conférences, séminaires, ateliers et autres activités de rayonnement tenues à l'École en 2022-2023.

Plusieurs étudiants gradués ont pu participer aux journées « *Quantact Summerday* ». Une conférence « *Midi R&D en actuariat* » a également été organisée au cours de l'année. Ce type de conférence vise à présenter les projets de recherches des professeurs de l'École aux étudiants du baccalauréat afin de développer leur intérêt pour les études supérieures. La Chaire a également donné un appui financier de 3 000 \$ aux étudiants de 1^{er} cycle pour leur participation au colloque de l'Association nationale des étudiants en actuariat et un autre appui de 1 500 \$ pour l'organisation d'un séminaire avec des conférenciers de grande notoriété. L'événement a eu lieu à la Faculté des sciences de l'administration, dans le cadre des activités du Fonds Conrad-Leblanc.

4. Annexes – liste des projets acceptés

4.1 Détail des projets de recherche réalisés 2020-2023

Rapport annuel 2020-2023 / Subventions Chaire d'actuariat

Titre : Distributions de Poisson multivariées : nouvelles approches de construction au croisement de l'actuariat et de l'apprentissage automatique

Nom des chercheurs (professeurs) : Etienne Marceau

Période : 1er mai 2020 au 30 avril 2023

Montant de la subvention : 20 000 \$

Problématique étudiée

Dans sa version initiale, l'objectif principal du présent projet était d'étudier et de proposer de nouvelles approches pour construire et estimer des distributions de Poisson multivariées pour des vecteurs de variables aléatoires discrètes à grandes dimensions.

Avec l'étudiant Benjamin Côté, nous avons étudié la problématique initiale du projet, que l'on convient d'appeler le volet B pour la suite du rapport. Les raisons suivantes m'ont amené à considérer deux autres volets (volets A et C) en complément de la problématique initiale :

- L'étudiant Alec Van Rassel a décidé de ne pas poursuivre à la maîtrise en actuariat au semestre A2021, comme il le planifiait lors de l'écriture de la demande initiale au printemps 2020.
- L'étudiant Christopher Blier-Wong a obtenu une bourse d'études au 3e cycle du CRSNG, avec le supplément Alexandre Graham-Bell.
- L'étudiant Amedeo Zito a continué à travailler à temps plein tout en poursuivant sa maîtrise en actuariat.
- L'étudiant Jean-Thomas Baillargeon a obtenu une bourse d'études au 3^e cycle du FRQNT.
- La subvention de la Chaire m'a aidé à recruter trois nouveaux étudiants gradués : Orelieu Chuisseu (doctorat, en janvier 2021), Benjamin Côté (maîtrise, en septembre 2022) et Jérémie Barde (maîtrise, en septembre 2022).

En résumé, le projet de recherche a comporté trois volets complémentaires :

- Volet A. Famille de copules bivariées Bladt-Nielsen (étudiant à la maîtrise Louis-Philippe Vignault et étudiant au baccalauréat Alec Van Rassel).
- Volet B. Distributions de Poisson multivariées : nouvelles approches de construction au croisement de l'actuariat et de l'apprentissage automatique (étudiant à la maîtrise Benjamin Côté).
- Volet C. Modélisation et tarification en assurance chantier de construction, notamment pour les structures en bois (étudiant à la maîtrise Jérémie Barde et étudiant au doctorat Orelieu Chuisseu).

Résumé de l'avancement des connaissances en science et/ou pratique actuarielle

Je présente un résumé de l'avancement des connaissances pour les volets A, B et C du projet.

Volet A. Famille de copules bivariées Bladt-Nielsen (étudiant à la maîtrise Louis-Philippe Vignault et étudiant au baccalauréat Alec Van Rassel).

Dans ce volet, nous avons investigué avec les étudiants Louis-Philippe Vignault et Alec Van Rassel les propriétés de la famille de distributions exponentielles bivariées Bladt-Nielsen. En nous basant sur la théorie des copules, nous avons identifié la famille des copules Bladt-Nielsen à partir de la famille des distributions exponentielles bivariées Bladt-Nielsen. Nous avons étudié les propriétés de dépendance de cette famille. Nous avons investigué diverses représentations des copules de cette famille. Nous avons proposé un algorithme de simulation propre à cette famille. Les résultats de ce volet ont été résumés dans un article en cours de rédaction. Les résultats obtenus dans le volet A ont permis d'ouvrir tout un champ de recherche avec ma collègue professeure Hélène Cossette et notre étudiant au doctorat Christopher Blier-Wong. Cette ouverture a eu des retombées majeures et elle a contribué à l'avancement des connaissances en science actuarielle, en probabilité et en statistique (voir la section « Diffusion des résultats »). Ainsi, le travail accompli dans le volet A a dépassé largement les objectifs de connaissance initialement envisagés.

Volet B. Distributions de Poisson multivariées : nouvelles approches de construction au croisement de l'actuariat et de l'apprentissage automatique (étudiant à la maîtrise Benjamin Côté).

Dans ce volet, nous avons investigué la construction et l'étude d'une nouvelle famille de distributions de Poisson multivariées dont la structure de dépendance est encodée dans un graphe en arbre. Pour y parvenir, nous nous sommes inspirés de la famille de séries temporelles Poisson AR(1) et nous avons transposé leurs dynamiques sur un graphe en arbre. Pour certaines configurations de graphes en arbre, nous avons pu obtenir les expressions de la fonction génératrice de probabilité conjointe et l'expression de la covariance entre deux variables aléatoires. Nous avons développé des algorithmes pour employer la famille de distributions de Poisson multivariées dans des contextes actuariels. Des codes R ont été écrits pour mettre en pratique ces algorithmes. Un article scientifique sur ces travaux est en cours de rédaction. Benjamin a eu l'occasion de présenter les résultats de ce volet.

Volet C. Modélisation et tarification en assurance chantier de construction, notamment pour les structures en bois (étudiant à la maîtrise Jérémie Barde et étudiant au doctorat Orelieu Chuisseu).

L'objectif de ce volet était d'examiner la modélisation et la tarification en assurance chantier. L'assurance chantier est un cas particulier de l'assurance générale aux entreprises. L'assurance générale aux entreprises représente un enjeu important pour les compagnies d'assurance et de réassurance. Il existe plusieurs obstacles en assurance aux entreprises pour concevoir des modèles adéquats à des fins de tarification des primes, en particulier dans le cas où les valeurs assurées sont élevées. Parmi ces obstacles, on mentionne un accès limité aux données et l'hétérogénéité des caractéristiques de risque des valeurs assurées. Dans les quelques contributions scientifiques actuarielles concernant cette thématique, les auteurs soulignent les enjeux pour évaluer les coûts en sinistres liés aux couches élevées d'exposition. Ainsi,

la prime exigée par une compagnie d'assurance ou de réassurance repose à la fois sur la prime proposée par l'actuaire et sur le jugement des souscripteurs. Ce constat prévaut, bien entendu, pour l'assurance chantier. Contrairement aux contrats d'assurance aux particuliers, un contrat d'assurance chantier n'est pas renouvelable. Il est rare que l'on puisse utiliser l'expérience du maître d'ouvrage ou celle de l'entrepreneur pour établir la prime. La durée de couverture dépend de la durée de construction, débutant avec le premier coup de pelle et se terminant par la dernière vis. Chaque chantier est différent. Ces aspects apportent des défis supplémentaires lors de la tarification. Bien qu'il y ait peu de travaux dans la littérature actuarielle, nous avons ainsi accompli une importante revue de la littérature sur l'assurance chantier et les méthodes de tarification pour ce type de produits en poussant notre investigation hors de l'actuariat. Nous avons clairement contribué à la compréhension pour les actuaires de la modélisation et la tarification de l'assurance chantier. Nous avons aussi pu comparer les objectifs visés par l'actuaire et par l'ingénieur lorsqu'ils modélisent les impacts éventuels d'un sinistre dû au péril incendie. L'actuaire a pour but de modéliser le comportement aléatoire du nombre de sinistres liés au péril incendie et le comportement aléatoire des coûts de remplacement, que l'on appelle le « montant d'un sinistre », à la suite d'un sinistre lié au péril incendie. Par le biais de cette modélisation, l'actuaire a pour objectif d'établir une prime pour un contrat d'assurance offrant la protection face au péril incendie. L'ingénieur utilise la modélisation et les tests en laboratoire dans le but de garantir que la structure exposée au péril incendie rencontre des critères de sécurité regroupés dans des codes du bâtiment. Depuis que nous avons entamé les travaux sur l'assurabilité des chantiers de construction d'immeubles en structure en bois massif, à notre surprise nous avons constaté que l'actuaire et l'ingénieur travaillent en vase clos. Nos travaux de recherche permettent de construire des ponts entre l'actuariat et le génie. Les résultats ont fait l'objet d'exposés à des architectes et des ingénieurs. À titre d'exemple de publication servant à établir des ponts entre architecture, génie et actuariat, nous avons publié un article dans la revue FORMES. Comme il est mentionné sur le site web du magazine fondé en 2004, « FORMES est une publication indépendante et novatrice, qui met de l'avant les bonnes pratiques dans les domaines de l'architecture, du territoire, de l'objet, des matériaux et de l'environnement. FORMES s'adresse à l'ensemble des professionnels et décideurs qui participent à la conception, à la réalisation, à l'aménagement et à la gestion du bâtiment et du territoire. » En réalisant ce volet, nous faisons notre part afin d'atteindre les objectifs 9 et 11 parmi les 17 objectifs pour un développement durable établis par l'ONU : (9) *bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation* ; (11) *faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables*.

Contribution à la formation de personnel hautement qualifié (nom des étudiants financés par le projet, cycle, brève description de leur contribution au projet)

Le projet a fortement contribué à la formation de personnel hautement qualifié. Dans la réalisation des trois volets, les étudiants impliqués ont développé les compétences suivantes :

- Se familiariser avec la méthodologie de recherche.
- Apprendre à effectuer une recherche bibliographique et à rédiger une revue de la littérature sur la thématique visée.
- S'entraîner à développer des résultats mathématiques de façon rigoureuse.

- Utiliser les outils informatiques dans le but de construire des illustrations numériques.
- Se familiariser avec l'écriture de textes scientifiques et la conception de diapositives pour des exposés scientifiques.
- Apprendre LaTeX afin de rédiger des textes scientifiques et concevoir des diapositives.
- Développer les aptitudes à présenter les résultats de travaux scientifiques selon des contextes différents et selon l'audience.
- Réaliser un projet de recherche de façon autonome.

Ces compétences sont pertinentes pour travailler, à la fois dans les milieux académique et professionnel. Pour chaque étudiant, je décris brièvement leur contribution et les aptitudes spécifiques obtenues dans la réalisation de leur volet.

Volet A. Famille de copules bivariées Bladt-Nielsen (étudiant à la maîtrise Louis-Philippe Vignault et étudiant au baccalauréat Alec Van Rassel).

Les deux étudiants ont travaillé sur tous les aspects du projet. Il est à souligné qu'ils ne se connaissaient pas et qu'ils ont accompli les travaux en mode virtuel comme il était de mise au semestre E2020. Bachelier en mathématiques de l'Université Laval (médaille du Gouverneur), l'étudiant Louis-Philippe Vignault s'est familiarisé avec la modélisation actuarielle des risques. Ne connaissant pas le R en commençant le projet, Louis-Philippe est parvenu en peu de temps à avoir une très bonne maîtrise de R grâce aux conseils prodigués par l'étudiant Alec Van Rassel. Louis-Philippe s'est familiarisé avec la théorie des copules. Il a aussi donné des formations aux autres membres du Labo ACT&RISK, notamment sur l'algorithme FFT. La formation qu'il a acquise pendant la réalisation du projet lui fut bien utile pour ses études dans un autre programme d'études de 2^e cycle en science et de génie. Étudiant au baccalauréat en actuariat, l'étudiant Alec Van Rassel a dû se familiariser avec la théorie des copules. Il a développé ses connaissances et la rigueur en mathématiques en collaborant avec Louis-Philippe. Il est aussi devenu un expert en LaTeX et il a donné une formation sur ce sujet aux membres du Labo ACT&RISK. La formation acquise pour réaliser ce volet lui a été bénéfique lorsqu'il fut recruté pour travailler au sein de l'équipe R & D de la compagnie d'assurance IA Assurance Générale. Tous les deux se sont familiarisés avec l'écriture d'un article scientifique.

Volet B. Distributions de Poisson multivariées : nouvelles approches de construction au croisement de l'actuariat et de l'apprentissage automatique (étudiant à la maîtrise Benjamin Côté).

L'étudiant Benjamin Côté a travaillé sur tous les aspects du projet. L'étudiant s'est familiarisé avec la théorie des graphes et les séries temporelles Poisson AR(1). Il a eu à faire preuve de créativité pour mettre en commun les notions de ces champs du savoir afin de concevoir la famille de distributions de Poisson multivariées définies sur des graphes en arbre. Il a assimilé le vocabulaire propre à la théorie des graphes afin de rédiger les résultats théoriques propres à cette nouvelle famille. Il a amélioré ses connaissances en R. Il a appris le LaTeX et il a développé ses compétences dans l'utilisation de Tikz pour concevoir, notamment, différentes configurations de graphes en arbre. Il s'est familiarisé avec l'écriture d'un article scientifique. Il va intégrer les résultats de ce volet dans son mémoire de maîtrise.

Volet C. Modélisation et tarification en assurance chantier de construction, notamment pour les structures en bois (étudiant à la maîtrise Jérémie Barde et étudiant au doctorat Orelie Chuisseu).

Les deux étudiants ont travaillé sur tous les aspects du projet. Ils ont dû se familiariser sur tarification de l'assurance générale aux entreprises. Ensuite, ils ont dû comprendre les aspects propres à la tarification de l'assurance chantier de construction. Ils se sont familiarisés avec la tarification en réassurance et les notions de partage optimal des risques. Ils ont étudié les différentes approches proposées par les ingénieurs pour modéliser le risque lié au péril incendie dans le contexte de chantiers de construction. Ils se sont familiarisés avec les structures en bois massif selon la perspective du génie. Ils ont pu développer une expertise inédite en actuariat pour la tarification de l'assurance chantier, en particulier dans le contexte de structures écoresponsables. Déjà bien familier avec R, Jérémie a amélioré son expertise. Il a développé son expertise dans la calibration de données de sinistres. Il a mis en place des stratégies pour améliorer son écriture. Jérémie va intégrer les connaissances acquises dans ce volet dans son essai. Dans ce volet, Orelie a abordé directement un des thèmes de sa thèse de doctorat, ce qui lui a permis de progresser dans sa préparation de son examen doctoral prospectif. Ce projet lui a aussi donné la possibilité d'améliorer significativement ses connaissances en R et en LaTeX. Orelie est devenu un expert en TikZ. Tous les deux ont développé leurs aptitudes à faire des exposés à des auditoires ayant de diverses expertises. Le projet a permis aux deux étudiants de progresser dans leurs programmes d'études.

Diffusion des résultats (publications, communications, ateliers, etc.) :

En résumé, ce projet m'a permis de contribuer à l'avancement des connaissances en actuariat et à la formation de personnel hautement qualifié. Nous avons aussi fait connaître les résultats pour les Volets A, B et C du projet selon les modes suivants de diffusion :

- Barde, J. (2023). Modélisation et tarification en assurance construction, notamment pour les structures en bois. Poster. École d'été CIRCERB. [Volet C]
- Barde, J. (2023). Analyse actuarielle du péril incendie pour la tarification en assurance chantier de construction. Essai. Université Laval. En cours de rédaction. [Volet C]
- Barde, J., Chuisseu, O., Marceau, E. (2023). Enjeux de la tarification actuarielle pour l'assurance chantier de bâtiments en bois massif. FORMES. Disponible en ligne : <https://formes.ca/materiaux/articles/enjeux-de-la-tarification-actuarielle-pour-l-assurancechantier-de-batiments-en-bois-massif> [Volet C]
- Chuisseu, O. (2023). Graph, Fire and Optimal Sharing. Rapport. Examen postdoctoral prospectif. École d'actuariat. Université Laval. En cours. [Volet C]
- Chuisseu, O. (2023). Modélisation de la propagation des flammes dans une maison par l'utilisation des graphes aléatoires pondérés. Exposé. Chaire de recherche Co-operators en analyse des risques actuariels. UQAM. [Volet C]
- Chuisseu, O. (2023). Contribution actuarielle à la compréhension des risques assurables liés aux constructions en hauteur de bâtiments non-résidentiels en CLT. Poster. École d'été CIRCERB. [Volet C]
- Cossette, H., Marceau, E., Van Rassel, A, Vignault, L-P (2020). Family of bivariate BladtNielsen Copulas. Article en cours de rédaction. [Volet A]
- Côté, B. (2023). Risk models defined on a family of tree-based Markov random fields with Poisson marginals. Exposé. 2023 Actuarial Research Conference. Drake University. Des Moines (Iowa), États-Unis. [Volet B]

- Côté, B. (2023). Familles de distribution multivariées définies sur des arbres et applications actuarielles. Mémoire. Université Laval. En cours de rédaction [Volet B]
- Van Rassel, A, Vignault, L-P (2020). Étude de famille de copules bivariées Bladt-Nielsen. Exposé conjoint. Mode virtuel (contexte : Covid-19). Labo ACT&RISK. Université Laval. [Volet B]

Le Volet B a eu des retombées importantes. Les travaux de recherche accomplis au semestre E2020 dans le Volet B ont servi de bougie d'allumage à des travaux de recherche dont nous avons publié les résultats dans des articles de recherche, notamment :

- Blier-Wong, C., Cossette, H., & Marceau, E. (2022). Stochastic representation of FGM copulas using multivariate Bernoulli random variables. *Computational Statistics & Data Analysis*, 173, 107506.
- Blier-Wong, C., Cossette, H., & Marceau, E. (2023). Risk aggregation with FGM copulas. *Insurance: Mathematics and Economics*, 111, 102-120.
- Blier-Wong, C., Cossette, H., & Marceau, E. (2022). Exchangeable FGM copulas. *Advances in Applied Probability*. doi:10.1017/apr.2023.19
- La liste des articles qui découlent de ces travaux n'est pas exhaustive. Nous avons aussi diffusé les résultats de ces travaux via des exposés dans des séminaires, des ateliers et des conférences. Je peux fournir une liste des titres de ces exposés au besoin.

Rapport annuel 2020-2023 / Subventions Chaire d'actuariat

Titre : Processus de renouvellement avec dépendance et applications en actuariat

Nom des chercheurs (professeurs) : Hélène Cossette

Période : 1er mai 2020 au 30 avril 2023

Montant de la subvention : 20 000 \$

Problématique étudiée

Dans sa version initiale, l'objectif principal du projet était l'étude de modèles de risque collectifs dynamiques avec dépendance. On visait à modéliser l'évolution des coûts d'un portefeuille via un processus des coûts agrégés en sinistres. La famille des modèles de risque collectifs avec dépendance, définie par un processus de renouvellement composé en temps continu, fournissent une bonne description des risques de catastrophe et sont de bons outils pour expliquer les conséquences des changements climatiques. Comme je l'explique dans ce rapport, j'ai examiné cette problématique avec l'étudiant Alexandre Lepage. Il était prévu que l'étudiant à la maîtrise Louis-Philippe Vigneault travaille sur le présent projet. Il a toutefois quitté la maîtrise en actuariat en 2021, en partie dû au contexte de la pandémie. J'ai donc choisi de poursuivre le projet avec les étudiants Jérémie Barde et Benjamin Côté en abordant des volets complémentaires qui sont liés à leur sujet d'étude pour leur essai et leur mémoire de maîtrise.

Résumé de l'avancement des connaissances en science et/ou pratique actuarielle

Pour la réalisation du projet, j'ai abordé trois volets complémentaires de recherche :

- Modèles de risque collectifs dynamiques avec dépendance (étudiant à la maîtrise : Alexandre Lepage);
- Péril incendie et loi Pareto généralisée (étudiant à la maîtrise : Jérémie Barde) ;
- Famille de distributions multivariées de Bernoulli définies sur des arbres (étudiant à la maîtrise : Benjamin Côté).

Je présente un résumé de l'avancement des connaissances pour chacun de ces trois volets.

Modèles de risque collectifs dynamiques avec dépendance (étudiant à la maîtrise : Alexandre Lepage).

Nous avons proposé trois approches pour modéliser la somme des coûts totaux en sinistres pour une période donnée à l'aide d'un processus de renouvellement avec récompenses dans un contexte de dépendance entre les variables aléatoires des temps inter-occurrences et de la sévérité. La première approche utilise la simulation Monte Carlo tel qu'il est habituellement fait dans un contexte d'indépendance. Étant dans un contexte de variables aléatoires continues, nous avons ensuite proposé d'utiliser une méthode de discrétisation et finalement nous avons utilisé une loi mélange d'Erlang dans

notre troisième approche. Nous avons utilisé la théorie des copules pour modéliser la dépendance entre les variables aléatoires des temps inter-sinistres et de la sévérité. De plus, nous avons examiné l'ordonnement stochastique des bornes d'approximation et nous avons étudié l'ordonnement stochastique du processus de renouvellement avec récompenses afin de qualifier l'impact du niveau de dépendance sur le comportement aléatoire des coûts totaux en sinistres pour une période donnée. L'étude de cette problématique a fait l'objet de l'essai de l'étudiant Alexandre Lepage.

Péril incendie et loi Pareto généralisée (étudiant à la maîtrise : Jérémie Barde).

Le péril incendie correspond à un péril majeur en assurance dommages. Dans notre investigation de la sévérité de ce péril, nous avons considéré la base de données en sinistres dus au péril incendie de la ville de Toronto. Cette base est en accès libre, via le portail de la ville. Nous avons débuté par une analyse descriptive des coûts en sinistres. Ensuite, nous avons calibré les données des coûts élevés en utilisant la loi Pareto Généralisée. Cette distribution est définie à l'aide de deux paramètres, dont l'un est appelé *l'indice de queue* et que l'on désigne par la lettre grecque α . L'indice de queue α a une incidence significative sur les mesures de risque, les primes d'assurance, etc. À partir de la base de données de Toronto et en utilisant des méthodes statistiques appropriées, nous avons déterminé que la valeur estimée de l'indice de queue α est égale à 1.4. Cette valeur obtenue de l'indice correspond aux valeurs aussi obtenues par des spécialistes avec une base danoise de données de sinistres dus au péril incendie. Nous avons calculé les mesures VaR et TVaR pour avoir de l'information sur la queue de la distribution et connaître l'impact de l'indice de queue α . L'étudiant a présenté les résultats de ses recherches dans le cadre du séminaire de recherche de la Chaire Co-operators en analyse des risques actuariels de l'UQAM et le séminaire de recherche des étudiants du Centre interdisciplinaire en Modélisation Mathématique de l'Université Laval (CIMMUL). L'étudiant Jérémie Barde intégrera les résultats de ce volet dans son essai de maîtrise.

Famille de distributions multivariées de Bernoulli définies sur des arbres (étudiant à la maîtrise : Benjamin Côté).

Étant donné le grand talent de l'étudiant Benjamin Côté, j'ai décidé d'investiguer la famille des distributions multivariées de Bernoulli définies sur des arbres. Un arbre est un graphe non-cyclique permettant d'encoder la structure de dépendance d'une distribution multivariée de Bernoulli. Nous avons étudié les propriétés de cette famille, en identifiant notamment la fonction génératrice de probabilité conjointe pour toute distribution multivariée de Bernoulli de cette famille. Ensuite, nous avons examiné la distribution du montant total des sinistres d'un portefeuille défini en supposant que le vecteur de variables aléatoires d'occurrence obéit à une distribution multivariée de Bernoulli définie sur un arbre. Pour y parvenir, nous avons utilisé une approche récursive qui utilise l'information contenue dans la matrice adjacente à l'arbre. Cette approche exige l'utilisation de l'algorithme Fast Fourier Transform (FFT). En adaptant cette approche, nous pouvons calculer les contributions d'un risque individuel au risque global du portefeuille selon la règle d'allocation d'Euler. L'étudiant Benjamin Côté va inclure les résultats de ce volet dans son essai de maîtrise. L'étudiant a présenté les résultats de ce volet dans le cadre du séminaire d'été de recherche des étudiants du CIMMUL.

Contribution à la formation de personnel hautement qualifié (nom des étudiants financés par le projet, cycle, brève description de leur contribution au projet)

Dans la réalisation des différents volets, les trois étudiants impliqués ont développé les compétences suivantes :

- Se familiariser avec la méthodologie de recherche.
- Apprendre à faire une recherche bibliographique et à rédiger une revue de la littérature sur la thématique visée.
- Développer de façon rigoureuse des résultats mathématiques.
- Utiliser des outils informatiques dans le but de construire des illustrations numériques.
- Se familiariser avec l'écriture de textes scientifiques et la conception de diapositives pour des exposés scientifiques.
- Apprendre LaTeX afin de rédiger des textes scientifiques et concevoir des diapositives.
- Développer les aptitudes à présenter les résultats de travaux scientifiques selon des contextes différents et selon l'audience.
- Apprendre à mener un projet de recherche de façon autonome.

Pour chaque étudiant, je décris brièvement leur contribution et les aptitudes spécifiques acquises dans la réalisation de leur volet.

Modèles de risque collectifs dynamiques avec dépendance (étudiant à la maîtrise : Alexandre Lepage).

L'étudiant Alexandre Lepage a travaillé sur tous les aspects de ce volet. L'étude du processus de renouvellement avec récompense dans un contexte de dépendance a conduit à la réalisation de l'essai de maîtrise de l'étudiant Alexandre Lepage. Cet essai, d'un niveau technique élevé, comporte une partie innovante ce qui est inhabituel dans le cadre d'un essai. Le sujet de son essai, lié au présent projet, lui a permis de faire un stage de recherche à l'Institut National de la Recherche Scientifique (INRS) en hydrologie, sous la supervision de Fateh Chebana. Étant donné que l'étudiant a eu d'importants problèmes de santé pendant et à la suite de la pandémie, nous n'avons pu transformer les résultats sous la forme d'un article scientifique. Les travaux effectués dans le cadre de ce projet ont toutefois permis à l'étudiant d'obtenir un poste au sein de l'équipe de recherche et développement de *Co-operators Assurance et services financiers* où il travaille sur la modélisation du risque d'inondation pour les résidents et les entreprises canadiennes et la prévision des impacts des événements météorologiques extrêmes et des changements climatiques sur la compagnie.

Péril incendie et loi Pareto généralisée (étudiant à la maîtrise : Jérémie Barde).

L'étudiant Jérémie Barde a travaillé sur tous les aspects de ce volet. Il a développé des aptitudes à analyser des données de sinistres dus au péril incendie. Il a dû apprivoiser et surmonter les défis de la calibration de la distribution Pareto généralisée à des données de sinistres avec montants élevés. Il a dû se familiariser avec les méthodes spécifiques à cette calibration et il a dû adapter des packages R pour réussir à produire des résultats souhaités. Il a effectué la calibration sur des données de coûts en sinistres dus au péril incendie de la ville de Toronto. À notre connaissance,

ceci consiste en la première utilisation de ces données dans un contexte actuariel. Il a réussi à présenter les résultats de ses travaux de recherche à des auditoires composés non seulement d'actuaire, mais aussi à des mathématiciens, des statisticiens, des ingénieurs, et des architectes. L'étudiant Jérémie Barde a intégré les résultats de ce volet dans son essai de maîtrise.

Famille de distributions multivariées de Bernoulli définies sur des arbres (étudiant à la maîtrise: Benjamin Côté).

L'étudiant Benjamin Côté a travaillé sur tous les aspects de ce volet. L'étudiant s'est familiarisé avec la théorie des graphes et la conception de famille de distributions multivariées de Bernoulli définies sur des arbres. Cette famille est connue en informatique, en statistique, en physique et en génie électrique. Avec cette famille, il est possible de modéliser des structures de dépendance pour des portefeuilles de très grandes tailles. Cette famille n'avait pas fait l'objet d'étude en actuariat jusqu'à tout récemment. L'étudiant a pu développer une expertise qui se trouve à la frontière de l'actuariat, de l'informatique et la statistique pour des vecteurs de variables aléatoires à très grande dimension. Pour réaliser ce projet, il a dû apprendre à présenter les résultats selon une approche nouvelle. Par exemple, il n'est pas possible de présenter sur une page l'expression complète de la fonction génératrice des probabilités de la variable aléatoire représentant les coûts totaux du portefeuille. Il dû développer des aptitudes à réfléchir à un problème mathématique défini dans un contexte à grandes dimensions. La formation acquise dans ce volet lui a ouvert les portes du doctorat. Il va aussi inclure les résultats de ce volet dans son essai de maîtrise.

Diffusion des résultats (publications, communications, ateliers, etc.) :

En résumé, ce projet m'a permis de contribuer à l'avancement des connaissances en actuariat et à la formation de personnel hautement qualifié. Nous avons aussi fait connaître les résultats du projet selon les modes suivants de diffusion :

- Lepage, A. (2022). Étude du processus de renouvellement avec récompense dans un contexte de dépendance. Essai. Université Laval.
- Barde, J. (2023). Analyse actuarielle du péril incendie. Exposé. Chaire de recherche Cooperators en analyse des risques actuariels. UQÀM.
- Barde, J. (2023). La loi Pareto pour la modélisation du risque d'incendie. Exposé. Séminaires d'été des étudiant-e-s du CIMMUL (SEE-CIMMUL). Université Laval.
- Barde, J. (2023). Analyse actuarielle du péril incendie pour la tarification en assurance chantier de construction. Essai. Université Laval. En cours de rédaction.
- Côté, B. (2023). Loi multivariée construite sur un arbre. Exposé. Séminaires d'été des étudiante-s du CIMMUL (SEE-CIMMUL). Université Laval.
- Côté, B. (2023). Risk models based on the family of tree-based multivariate Bernoulli distributions. En cours de rédaction.
- Côté, B. (2023). Familles de distribution multivariées définies sur des arbres et applications actuarielles. Essai. Université Laval. En cours de rédaction.

Rapport annuel 2020-2023 / Subventions

Chaire d'actuariat

Titre : Gestion des risques sous plusieurs contraintes de la perte attendue limitée pondérée

Nom des chercheurs (professeurs) : Thai Nguyen

Période : 2020 à 2023

Montant de la subvention : 20 000 \$

Problématique étudiée

Ce projet aborde un problème de maximisation d'utilité soumis à plusieurs contraintes de risque imposées à différentes dates de régulation tout au long de l'horizon d'investissement. La solution optimale peut être obtenue en appliquant une procédure régressive dans un tel contexte multi-période. Les résultats obtenus permettent de généraliser les conclusions existantes dans le domaine de la gestion du risque financier sous contrainte de risque.

Résumé de l'avancement des connaissances en science et/ou pratique actuarielle :

Tout d'abord, nous avons obtenu une solution explicite pour le cas où la contrainte de risque est imposée à l'échéance et où le seuil de perte est modélisé par un portefeuille de référence (processus aléatoire) dans un marché financier complet. Notre analyse numérique nous a permis de tirer certaines implications intéressantes en matière de gestion des risques financiers et actuariels. Dans une deuxième étape impliquant un collectif, nous proposons une nouvelle règle de partage du risque en caractérisant l'optimalité de Pareto du partage de richesse qui prend en compte la condition d'équité financière. L'analyse numérique confirme les résultats théoriques et met en évidence l'impact positif de la contrainte de perte parmi les règles de partage proportionnelles populaires, soulignant l'importance du contrôle des risques en pratique.

Contribution à la formation de personnel hautement qualifié : (nom des étudiants financés par le projet, cycle, brève description de leur contribution au projet) :

Le projet nous a permis d'embaucher Tak Wa Ng, un étudiant de troisième cycle, à l'hiver 2021. Il a contribué au développement des résultats théoriques et à la simulation numérique. Nos conclusions concernant le cas individuel ont été publiées dans la revue reconnue **Astin Bulletin** [*Portfolio performance under benchmarking relative loss and portfolio insurance: from Omega ratio to loss aversion*, *ASTIN Bulletin*, 53 (1), 149 – 183, 2023]. Nous sommes actuellement sur le point de soumettre notre deuxième article à la revue **European Journal of Operational Research**, portant sur nos récents résultats pour le cas collectif.

Diffusion des résultats (publications, communications, ateliers, etc.) :

- Une communication orale ainsi qu'un poster sur ce sujet ont été présentés par Tak Wa lors des Journées de la Recherche en Sciences et Génie à l'Université Laval les 4 et 5 novembre 2021.

- Deux communications orales ont été données par Tak Wa lors des congrès internationaux IME 2022 et IME 2023.
- Tak Wa a également fait une présentation lors du séminaire du CIMMUL le 21 avril 2023.
- Un premier article a été publié dans l'ASTIN Bulletin, et un deuxième article est sur le point d'être soumis.