

Actuariat et construction en bois massif

Jean-Philippe Boucher, Hélène Cossette, Etienne Marceau

École d'Actuariat, Université Laval, Québec, Canada

June 16, 2021

Abstract

Plan du résumé :

1. *Background*
2. *Aims / General Objective/ Findings*
3. *Methods*
4. *Results and conclusions*

Keywords : ...

Nom du fichier: main.tex

Contents

1	Introduction	4
1.1	Contexte	5
1.2	Plan du document	6
2	Assurances IARD	7
2.1	Brève description du marché	7
2.2	Opérations d’une compagnie d’assurance IARD	8
2.3	Processus de tarification actuarielle en assurance IARD	9
3	Gestion du risque et assurance	11
3.1	Fundamentals of risk and insurance	12
3.2	Risk management and insurance	13
3.3	Handbook of insurance	14
3.4	Theory and practice of insurance	15
4	Réassurance	16
4.1	Bases	16
4.2	Réassurance et construction	16
4.3	Réassurance et bois massifs	16
5	Modélisation actuarielle et tarification en assurance IARD	17
5.1	Modèle fréquence-sévérité	17
5.2	Assurances IARD aux particuliers	19
5.3	Apprentissage automatique	20
5.4	Illustration	21
6	Assurance construction/chantier	22
6.1	Contexte	22
6.2	An expert system for strategic control of accidents and insurers’ risks in building construction projects	23
6.3	Risk and insurance in construction	24
6.4	Assurance construction et actuariat	24
6.5	Insurance Service Office (ISO)	25
7	Actuariat et péril incendie	27
7.1	Contributions actuarielles	27
7.2	The probability distribution of fire loss amount	28
7.3	Statistical models of claim distributions in fire insurance	29
7.4	Deductibles in industrial fire insurance	30
7.5	Economic Risk Capital and Reinsurance: an Extreme Value Theory’s Application to Fire Claims of an Insurance Company	31
8	Génie et péril incendie	32
8.1	Approche génie vs approche actuariat	32
8.2	Probability and risk analysis	33
8.3	A note on estimation of intensities of fire ignitions with incomplete data	34
8.4	Compartment fire risk analysis by advanced Monte Carlo simulation	35
8.5	Dynamic modeling of fire spread in building	36
8.6	Fire risk analysis of a 6-storey residential building using CURisk	37
8.7	The modeling of fire spread in buildings by Bayesian network	38
8.8	Societal decision-making for optimal fire safety	39
8.9	A survey of 40,000 building fires in Switzerland	40
8.10	Fire performance of timber structures under natural fire conditions	41

8.11	Combining engineering and data-driven approaches: Calibration of a generic fire risk model with data	42
8.12	Combining engineering and data-driven approaches: Development of a generic fire risk model facilitating calibration	43
8.13	Building Fire Risk Analysis	44
8.14	Principles of fire risk assessment in buildings	45
8.15	The economics of fire protection	46
8.16	Measuring Consequences in Economic Terms	47
8.17	Statistical methods in risk evaluation (fire)	48
8.18	Quantitative Risk Assessment in Fire Safety	49
8.19	Economics of fire: exploring fire incident data for a design tool methodology	50
8.20	Générateur de scénarios d'incendie (CUriSk)	51
9	Bois massif, péril incendie et assurabilité	52
9.1	Contexte	52
9.2	Projet de la CIRCERB 2017	53
9.3	Actuariat et bois massif : enjeux importants (JP Boucher)	54
9.4	Joint research project by NFPA & Property Insurance Research Group	55
10	Conclusion	57
A	Deux graphiques de Christopher	62

1 Introduction

L'assurance représente un outil majeur pour la gestion du risque dans un projet de construction.

[...]

1.1 Contexte

Points importants:

- Les membres de la Chaire CIRCERB cherchent à évaluer le juste prix de protection d'assurance pour les constructions en bois massif, comme le CLT (*Cross-laminated timber*);
- Les primes d'assurance proposées par les compagnies d'assurance privées pour ce genre de protection sont très élevées et limitent fortement le développement de cette industrie;
- Les membres de la Chaire CIRCERB estiment de plus que les primes proposées par les compagnies d'assurance sont trop hautes par rapport au risque réel.

En théorie, dans un marché ouvert et compétitif où il existe de nombreux assureurs, puisque les assurés auront toujours tendance à choisir l'assureur qui offre la prime la moins élevée, on devrait s'attendre à ce que les primes d'assurance convergent vers le risque réel ¹. Toutefois, il arrive occasionnellement que ce qu'on appelle le phénomène d'anti-sélection ne soit pas toujours observé en pratique:

- Le nombre d'assureurs réellement intéressés à un certain secteur d'activité peut être limité;
- Le produit à assurer est parfois peu connu, peu fréquent sur le marché et une période de temps assez longue est souvent nécessaire aux assureurs pour collecter, analyser les résultats de sinistralité et déterminer une prime d'assurance proche du risque réel.

La situation actuelle de l'assurance des constructions en bois massif, incluant le CLT, semble correspondre à ces derniers éléments.

Cet aspect est soulevé notamment dans la monographie [Syed, 2020] : "Mass timber construction in Canada is in the spotlight and emerging as a sustainable building system that offers an opportunity to optimize the value of every tree harvested and to revitalize a declining forest industry, while providing climate mitigation solutions. Little research has been conducted, however, to identify the mass timber research priorities of end users, barriers to adoption and engineering, procurement and construction challenges in Canada. This study helps bridge these gaps. The study also created an interactive, three-dimensional GIS map displaying mass timber projects across North America, as an attempt to offer a helpful tool to practitioners, researchers and students, and fill a gap in existing knowledge sharing. The study findings, based on a web-based survey of mass timber end users, suggest the need for more research on (a) total project cost comparisons with concrete and steel, (b) hybrid systems and (c) mass timber building construction methods and guidelines. The most important barriers for successful adoption are (a) misconceptions about mass timber with respect to fire and building longevity, (b) high and uncertain insurance premiums, (c) higher cost of mass timber products compared to concrete and steel, and (d) resistance to changing from concrete and steel. In terms of challenges: (a) building code compliance and regulations, (b) design permits and approvals, and (c) insufficient design experts in the market are rated by study participants as the most pressing "engineering" challenge. The top procurement challenges are (a) too few manufacturers and suppliers, (b) long distance transportation, and (c) supply and demand gaps. The most important construction challenges are (a) inadequate skilled workforce, (b) inadequate specialized subcontractors, and (c) excessive moisture exposure during construction."

¹En considérant les frais administratifs, les taxes et les profits.

1.2 Plan du document

Le présent document est construit comme suit : ...

2 Assurances IARD

2.1 Brève description du marché

L'industrie des assurances IARD est divisée en deux grands secteurs d'activités :

- lignes personnelles : principalement assurance automobile et habitation
- lignes commerciales (différents produits d'assurance)
 - propriété commerciale (assurance d'entreprise)
 - responsabilité
 - autres

L'assurance construction est un exemple d'assurance commerciale

Les principaux acteurs sont :

- Sociétés de courtage et sociétés de gestion d'assurances
- Compagnies d'assurance
- Compagnies de réassurance

On retrouve des faits sur les assurances IARD sur les sites des organismes suivants :

- Bureau d'assurance du Canada <http://www.ibc.ca/ns/>
- US: Insurance Information Institute <http://www.iii.org/>

Les principaux secteurs d'activité des compagnies d'assurances IARD en 2019 sont :

Secteurs d'activité	Primes nettes souscrites
Assurance automobile (lignes personnelles)	43%
Assurance habitation (lignes personnelles)	23%
Assurance commerciale	14%
Assurance responsabilité civile professionnelle	10%
Autres	10%

Les valeurs sont similaires pour les compagnies américaines d'assurances IARD

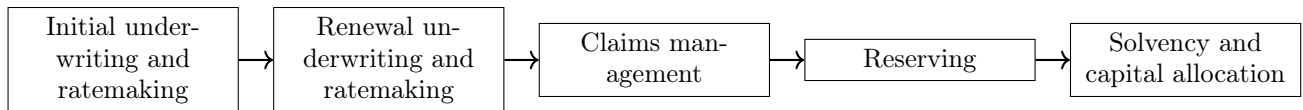


Illustration 1 – Principales unités opérationnelles d’une compagnie d’assurances IARD

2.2 Opérations d’une compagnie d’assurance IARD

Un excellent et bref aperçu des activités d’assurance dommages se trouve dans [\[Frees, 2015\]](#). En peu de pages, l’auteur présente les enjeux d’une compagnie d’assurance dommages selon une perspective actuarielle et analytique.

Les cinq principales unités opérationnelles d’une compagnie d’assurances IARD (voir Illustration 1) sont les suivantes :

1. Souscription initiale et tarification
2. Renouvellement de la souscription et tarification
3. Gestion des règlements de sinistres
4. Calcul des provisions (provisionnement)
5. Solvabilité et allocation de capital

Les actuaires IARD sont principalement impliqués dans les items 1, 2, 4 et 5.

En tarification (items 1 et 2), l’actuaire vise à établir la prime d’une police d’assurances IARD.

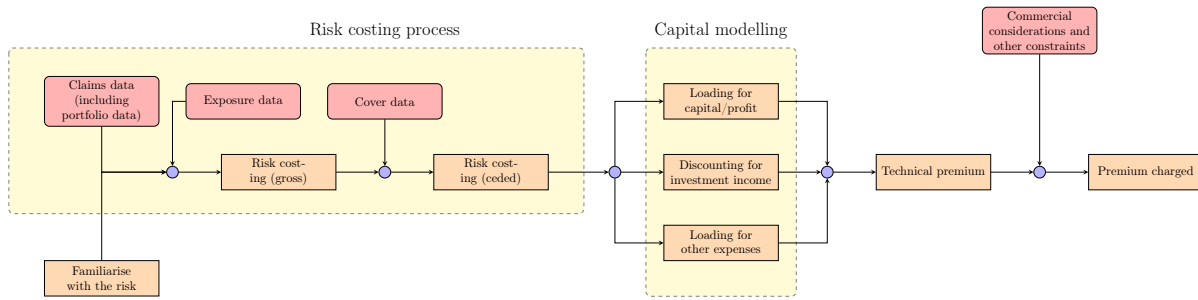


Illustration 2 – Vue d'ensemble du processus de tarification en assurance IARD

2.3 Processus de tarification actuarielle en assurance IARD

Le processus de tarification est crucial, car les primes d'assurance sont les principaux revenus des compagnies d'assurances IARD

Objectif du processus de tarification : établir la prime chargée pour une police d'assurance

Références sur la tarification actuarielle :

- Assurance IARD : [Parodi, 2014]
- Assurance IARD aux particuliers : [Ohlsson and Johansson, 2010], [Denuit et al., 2007]
- Assurance IARD aux entreprises : [Michaelides et al., 1997]
- Réassurance: [Albrecher et al., 2017], [Clark, 1996]

Comme l'explique l'auteur de [Parodi, 2014], les principales étapes du processus de tarification sont les suivantes :

1. Processus de souscription : se familiariser avec le risque et, pour l'assurance / réassurance commerciale, avec l'activité de l'assuré.
2. Processus d'établissement des coûts : estimer le coût du risque assuré sur la base des données disponibles
3. Chargement des dépenses de fonctionnement de l'entreprise (souscription, gestion des sinistres, paie, etc.)
4. Prise en compte des revenus de placement (*actualisation*)
5. Chargements pour le profit et l'exigence de capital

$$\text{Prime technique} = [2] + \dots + [5]$$

$$\text{Prime chargée} = \text{Prime technique} + \text{marge pour des considérations commerciales}$$

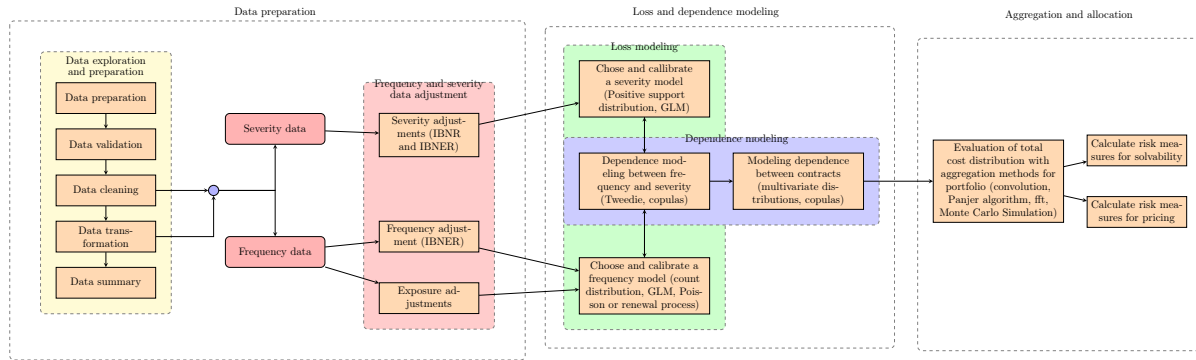
Le "processus de tarification" est réalisé en lien avec le "processus de provisionnement" et le "processus de solvabilité et d'allocation du capital"

On présente une vue d'ensemble du processus de tarification en assurance IARD à l'illustration 2.

Dans ce document, nous nous limiterons à l'étape [2] "processus d'établissement des coûts"

Généralement, le processus d'établissement des coûts en [2] est basé sur des modèles actuariels, appelés modèles fréquence-sévérité

Vue d'ensemble du processus de calcul des coûts des risques :



Procédure de tarification : fréquence-sévérité

3 Gestion du risque et assurance

La gestion du risque est complémentaire à l'actuariat.

Sommairement, la gestion du risque propose une approche qualitative à la compréhension et "gestion" du risque, alors que l'actuariat modélise quantitativement le risque pour évaluer les coûts de différentes stratégies pour gérer le risque.

Structure de la section:

- Le titre de la sous-section est le titre de l'article (ou du document).
- On a reproduit le résumé et fait de brefs commentaires.

3.1 Fundamentals of risk and insurance

Pour un exposé détaillé et assez récent sur la gestion du risque et à l'assurance, on recommande [Vaughan and Vaughan, 2007].

Définition du risk management (page 16 de [Vaughan and Vaughan, 2007]) : Risk management is a scientific approach to dealing with risks by anticipating possible losses and designing and implementing procedures that minimize the occurrence of loss or the financial impact of the losses that do occur."

Dans l'introduction (page 17 et plus, à partir de "RISK MANAGEMENT TOOLS") de [Vaughan and Vaughan, 2007], on classe les approches pour gérer le risque comme suit :

1. risk reserves
2. risk avoidance
3. risk reduction
4. risk transfer
5. risk sharing

Dans le chapitre 31 de [Vaughan and Vaughan, 2007], j'ai trouvé cet extrait : "Commercial property coverage is the term used by the ISO to designate those fields previously known as "fire and allied lines." Because the term commercial property insurance (or commercial property coverage) is also used in reference to the range of coverages that provide protection on property of commercial risks (i.e., fire and allied lines, boiler and machinery, plate glass, marine, and crime insurance), this creates a potential for ambiguity. To minimize the confusion, we will follow the ISO's usage of the term commercial property coverage to refer to the traditional fields of fire and allied lines, and will use the term commercial property insurance when referring to the broad field of property insurance coverages."

Le contenu du chapitre 31 aide à comprendre la structure des contrats en assurance commerciale.

Dans l'extrait, on mentionne clairement l'importance du péril incendie.

newpage

3.2 Risk management and insurance

Cet ouvrage [[Harrington and Niehaus, 1999](#)] aborde la gestion du risque et l'assurance.

Par contre, il n'aborde pas l'assurance construction, voire l'assurance commerciale.

Conclusion : pas utile pour nous.

3.3 Handbook of insurance

Cet ouvrage [[Dionne et al., 2013](#)] aborde la gestion du risque et l'assurance.

Par contre, il n'aborde pas l'assurance construction, voire l'assurance commerciale.

Conclusion : pas utile pour nous.

Résumé: "This new edition of the Handbook of Insurance reviews the last forty years of research developments in insurance and its related fields. A single reference source for professors, researchers, graduate students, regulators, consultants, and practitioners, the book starts with the history and foundations of risk and insurance theory, followed by a review of prevention and precaution, asymmetric information, risk management, insurance pricing, new financial innovations, reinsurance, corporate governance, capital allocation, securitization, systemic risk, insurance regulation, the industrial organization of insurance markets, and other insurance market applications. It ends with health insurance, longevity risk, long-term care insurance, life insurance financial products, and social insurance."

3.4 Theory and practice of insurance

Cet ouvrage [Outreville, 1998] aborde la gestion du risque et l'assurance.

Par contre, il n'aborde pas l'assurance construction, voire l'assurance commerciale.

Conclusion : pas utile pour nous.

Résumé: "Insurance is a concept, a technique, and an economic institution. It is a major tool of risk management, and plays an important role in the economic, social, and political life of all countries. Economic growth throughout the world has even expanded the role of insurance. emTheoryem emand Practice of Insuranceem aims to describe the significance of insurance institutions, the reasons they exist and how they function. The author emphasizes fundamental principles in risk and insurance, using an international frame of reference. This volume begins with an introduction to the concept of risk, then proceeds to cover insurance and its relationship to the economy; the principles of risk management and insurance; and the characteristics and performance of insurance companies."

4 Réassurance

4.1 Bases

Une excellente introduction sur les aspects actuariels et statistiques de la réassurance est donnée dans [\[Albrecher et al., 2017\]](#).

Une compagnie d'assurance vise à prendre des risques (d'assurance).

Pour gérer son risque global d'assurance, une compagnie d'assurance choisit d'en transférer une partie vers une ou des compagnie(s) de réassurance.

Le transfert des risques par le biais de contrats de réassurance contribue à améliorer le profil de risque des compagnies d'assurance.

Les principales motivations de la réassurance (pour une compagnie d'assurance) ([\[Albrecher et al., 2017\]](#)):

1. Réduire la probabilité de subir des pertes difficiles à assumer
2. Stabiliser les résultats commerciaux
3. Réduire le capital requis
4. Augmenter la capacité de souscription
5. Accéder à des *pools* de diversification plus importants
6. Recevoir de l'assistance dans l'évaluation, la tarification et la gestion des risques
7. Permettre à des risques d'être assurés qui autrement ne seraient pas assurables

La réassurance est cruciale pour l'assurance construction.

Dans les notes de cours suivantes (de l'ETH), l'auteur, chercheur de Swiss Re, offre un bel aperçu de la tarification en réassurance : [\[Antal and Re, 2007\]](#) (aussi citée dans [\[Albrecher et al., 2017\]](#)).

4.2 Réassurance et construction

[...]

4.3 Réassurance et bois massifs

[...]

5 Modélisation actuarielle et tarification en assurance IARD

5.1 Modèle fréquence-sévérité

Pour décrire le comportement des coûts pour un contrat d'assurance, les actuaires utilisent un modèle appelé fréquence-sévérité.

Le montant total des coûts en sinistres pour une police d'assurance IARD est représenté par une variable aléatoire (v.a.) X .

Caractéristique importante de la v.a. X :

- la v.a. X prend la valeur zéro avec une probabilité très élevée (selon le type de police)
- si une réclamation survient, le montant de la réclamation peut être très élevé (en particulier pour l'assurance commerciale (y compris la construction))

Modèle actuariel pour X = modèle fréquence-sévérité :

- fréquence : nombre de sinistres (v.a. positive discrète M)
- sévérité : si au moins un sinistre survient ($M > 0$) les montants de sinistres individuels (v.a positives continues B_1, B_2, B_3, \dots)

La v.a. X est définie selon une somme aléatoire, i.e.,

$$X = \sum_{k=1}^M B_k.$$

Interprétation :

- $M = 0 \Rightarrow X = 0$
- $M = 1 \Rightarrow X = B_1$
- $M = 2 \Rightarrow X = B_1 + B_2$
- Etc.

Hypothèses classiques :

- A1: $\underline{B} = \{B_1, B_2, \dots\}$ forme une suite de v.a. indépendantes
- A2: B_1, B_2, \dots ont la distribution de probabilité que la v.a B
- A3: la suite de v.a. gravité \underline{B} et la v.a. fréquence M sont indépendantes

Espérance de la v.a. montant total en coûts en sinistres X pour une police :

$$E[X] = E[M] \times E[B]$$

Interprétation:

- $E[X]$ = prime pure de la police d'assurance
- coûts espérés pour une police = nombre espérés de sinistres (fréquence) \times coûts espérés par sinistre (sévérité)

L'actuaire doit modéliser à la fois les distributions de la v.a. fréquence M et de la v.a. sévérité B

Exemple de distributions pour la v.a. fréquence M en assurance IARD :

- **distribution Poisson** : $M \sim Pois(\lambda)$
- $\lambda = E[M]$
- \Rightarrow distribution du montant total des sinistres $X =$ Poisson composée
- Assurance auto aux particuliers : $\lambda \approx 5\%$
- Assurance habitation aux particuliers : $\lambda \approx 1\%$

Dans l'illustration 3, on présente des courbes de fonctions de densité de distributions possibles pour la v.a. sévérité B en assurance auto pour les particuliers : **distribution gamma** ($B \sim Gamma(\alpha, \beta)$)

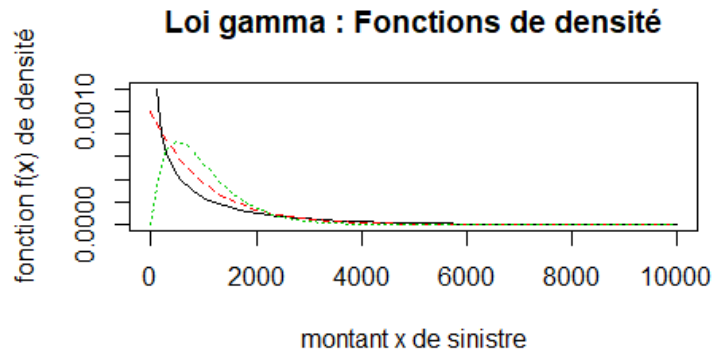


Illustration 3 – valeurs de $f_B(x; \alpha, \beta)$ pour $\alpha \in \{0.5, 1, 2\}$, tel que $E[B] = \frac{\alpha}{\beta} = 1000$

Interprétation : $\Pr(X \in (x, x + dx]) = f(x)dx$

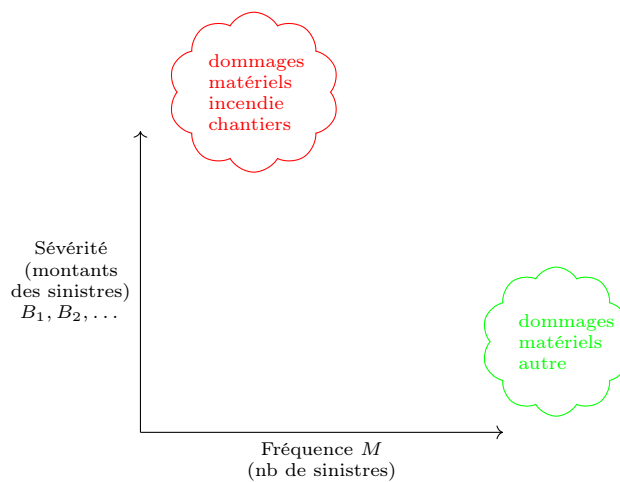


Illustration 4 – Modèle fréquence-sévérité : dommages assurance auto vs dommages matériels incendie chantiers

Source : Atelier Mon Sous-Sol (2021)

5.2 Assurances IARD aux particuliers

En assurances IARD aux particuliers, l'actuaire peut choisir (1) de modéliser la distribution de X ou (2) de modéliser séparément les distributions de M et de G

Pour les deux options, les paramètres des distributions sont estimés en termes de m caractéristiques ("features") $\underline{y} = (y_1, \dots, y_m)$

Caractéristiques en assurance auto : type de véhicule, âge du conducteur/trice, etc.

Caractéristiques en assurance habitation : type de construction, distance des services d'incendie, etc.

De nos jours, les actuaires effectuent l'estimation des paramètres des distributions en termes de caractéristiques \underline{y} en utilisant la méthodologie GLM (*Generalized Linear Models*)

Exemple: Modèle Poisson avec régression :

- Considérons n polices avec différentes caractéristiques \underline{y}
- $M \sim \text{Pois}(\lambda)$
- $\ln(\lambda) = \beta_0 + \beta_1 y_1 + \dots + \beta_m y_m$
- $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ sont les paramètres de la distribution à être estimés
- Cette approche nécessite un grand ensemble de données
- L'ensemble de données est mis sur pied par l'assureur

Les données sont cruciales en assurance IARD \Rightarrow actif très important pour une compagnie d'assurance

Références: [Denuit et al., 2007], [Ohlsson and Johansson, 2010], [Frees et al., 2014], etc

Il existe de nombreuses extensions à la méthodologie GLM

5.3 Apprentissage automatique

La méthodologie GLM est un cas particulier des méthodologies que l'on trouve dans l'apprentissage automatique.

Les algorithmes d'apprentissage automatique sont capables de modéliser des transformations et des interactions hautement non linéaires d'entités d'entrée.

Alors que les actuaires utilisent fréquemment les GLM dans la pratique, ce n'est qu'au cours des dernières années qu'ils ont commencé à étudier ces algorithmes pour aborder les tâches liées à l'assurance, en particulier en assurance IARD aux particuliers.

Dans les ouvrages suivants, leurs auteurs présentent une introduction à l'intégration des outils de l'apprentissage automatique à la modélisation actuarielle :

- [[Denuit et al., 2019](#)]: trois tomes ; le risque de construction n'est pas examiné dans cette référence.
- ...
- ...

5.4 Illustration

On présente à l'illustration 5 les trois principales compétences d'un actuaire.

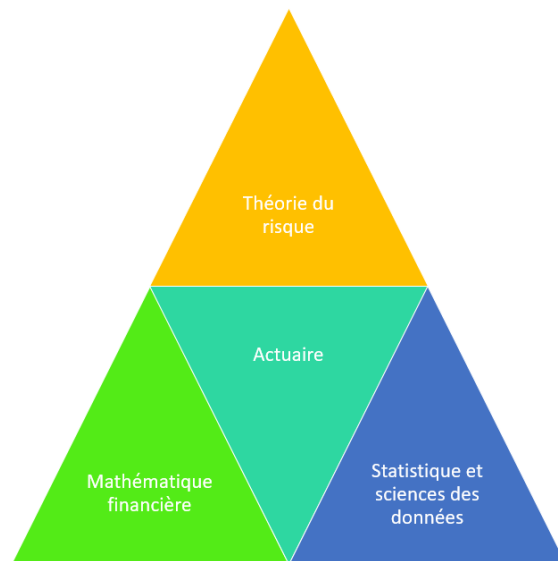


Illustration 5 – Principales compétences d'un actuaire

6 Assurance construction/chantier

6.1 Contexte

L'assurance construction est un exemple spécifique de l'assurance multirisque commerciale ([[Lynch, 2006](#)])

Les couvertures propriété et responsabilité sont les deux principales catégories d'assurance commerciale

Deux principales polices d'assurance

- Builder's Risk Insurance:
 - Type of property insurance designed for the construction industry
 - Covers the project owner and contractors for their labour, equipment, and building materials
- Wrap Up Liability:
 - Type of liability insurance designed for the construction industry
 - Covers owners, contractors and subcontractors.

6.2 An expert system for strategic control of accidents and insurers' risks in building construction projects

Remarques par [Imriyas, 2009] concernant l'assurance construction/chantier :

- "Construction is one of the most dangerous and risky businesses"
- "Insurance is a keystone to eliminate most of the financial risks in construction"

Résumé: "Building construction projects appear to have higher accident rates. Contractors procure workers' compensation insurance (WCI) to transfer these risks to insurance companies. The commitment of insurers under WCI is extremely broad; there are no exclusions and ceilings on their liabilities. They must quote adequate premiums to cover future risks. Yet, the prices should be low enough to penetrate the market. Thus, accomplishing rigorous risk and market assessments to decide optimal premiums for building projects is crucial. Traditionally, experience rating approach has been adopted for WCI premium-rating. However, this approach has been found ineffective for construction. Hence, the purpose of this study is to develop an effective WCI premium-rating model for building projects, and to automate the model as an expert system. A new WCI premium-rating model was developed based on the findings of a literature review and a questionnaire survey. A hybrid of interviews and past workers' compensation claims data analysis was pursued to develop the conceptual model of a fuzzy expert system to automate the proposed model. It was then prototyped and verified with Turing tests. The proposed expert system advocates real-time assessments of project hazards, safety, market conditions and insurers' internal factors for premium-rating. It also establishes an effective risk control strategy via a well-structured incentive system for contractors and clients. Its implementation in the insurance industry can curtail accidents in the construction industry, thereby minimising insurers' financial risks."

Cet article porte sur l'assurance compensation liée aux accidents de travail sur des chantiers de construction.

Conclusion : il n'est pas pertinent pour nous.

6.3 Risk and insurance in construction

Des détails sur les risques et les assurances dans la construction d'un point de vue juridique peuvent être trouvés dans [Bunni, 2003].

Résumé : "Those involved in construction have to cope with so much learning in their own discipline that they shun further involvement in subjects such as insurance and law which in themselves are so deeply and intensely complex. However, insurance and law are interwoven in the basic procedures used in the construction industry for undertaking work, be they design, construction, supervision or operation, or any combination of them. This thoroughly revised edition of Nael Bunni's successful book, formerly called Insurance in Construction, provides information on risk, construction law and construction insurance for those involved with all aspects of construction. The chapters on risk have been expanded to include recent developments in the area and provide further examples of events which could occur on what can be viewed as the most risky human work activity, namely construction. New chapters are also added to deal with the insurance clauses of the many new standard forms of contract published in recent years, including FIDIC's new suite of contracts published in September 1999, ICE's seventh edition of the civil engineering standard form of contract, and ICE's second edition of the design/build form."

Conclusion : Intéressant pour le contexte ; moins utile pour l'aspect quantitatif. Utile pour la revue de littérature.

6.4 Assurance construction et actuariat

Dans [Cossette et al., 2018], nous avons fixé notre attention sur l'assurance construction pour les projets de grande envergure impliquant des structures en CLT

Contributions à la recherche en actuariat en assurance construction :

- Aucune contribution de recherche sur la tarification des polices d'assurance impliquant des produits CLT dans la littérature actuarielle (à ce jour)
- Aucune contribution de recherche spécifiquement sur la tarification de l'assurance construction dans la littérature actuarielle (à ce jour)
- Exceptions = Thèses MSc en France :
 - [Lavarny, 2018]
 - [Nataf, 2014]
 - Voir : <http://www.ressources-actuarielles.net/>

Contributions à la recherche en génie civil, ingénierie, etc. liées au CLT :

- Plusieurs articles se concentrent sur la performance des structures en CLT par rapport au risque d'incendie
- Les coûts de remplacement (matériel) ou de responsabilité suite à un incendie ou à un autre type de catastrophe ne sont pas analysés
- À notre connaissance, aucune de ces études ne portait sur l'analyse des coûts de remplacements suite à sinistres survenant sur des chantiers de construction

Remarques de [Cossette et al., 2018]:

- Contrairement à l'assurance individuelle, le processus de tarification utilisé par les actuaires pour l'assurance construction n'est pas clairement connu
- Les actuaires utilisent à la fois des modèles actuariels et l'expertise de spécialistes (ingénieurs, architectes, etc.)
- Une caractéristique cruciale des modèles actuariels est la classe de construction ISO attribuée par le souscripteur

6.5 Insurance Service Office (ISO)

Dans les secteurs de l'assurance IARD des particuliers et des entreprises, l'ISO (*Insurance Service Office*) fournit les services suivants :

- Informations statistiques, actuarielles, de souscription et de réclamation
- Langage de la politique et informations sur des emplacements spécifiques
- Outils d'identification des fraudes et services techniques

Désormais, l'ISO fait partie de Verisk : <https://www.verisk.com/>

L'ISO définit six classes de construction pour les bâtiments commerciaux :

- Construction Class 1 — Frame
- Construction Class 2 — Joisted masonry
- Construction Class 3 — Noncombustible
- Construction Class 4 — Masonry noncombustible
- Construction Class 5 — Modified fire resistive
- Construction Class 6 — Fire resistive

Caractéristiques (y) dans les modèles actuariels pour l'assurance construction :

- Situation géographique, distance des services d'incendie, etc.
- Caractéristique importante (en particulier pour les structures CLT): classe de construction

Le calcul de la prime pour un chantier de construction en bois lamellé-croisé est établi par prédiction des coûts que ce dernier occasionnerait en cas de sinistre, et que le modèle prédit à partir des valeurs et modalités des variables explicatives.

Parmi les variables en question, les assureurs incorporent une (ou plusieurs) caractérisant les types de matériaux utilisés dans cette construction. Cette variable est catégorique, et l'on doit choisir des classes pour celle-ci qui regrouperaient les matériaux les plus homogènes en termes de risque. Selon les renseignements recueillis auprès d'assureurs, la classification utilisée est celle établie par le Insurance Services Office (ISO) (voir le lien <https://www.verisk.com/insurance/capabilities/underwriting/commercial-property/construction-briefs/>), et est présentée comme suit:

1. Résistant au feu

Type de construction dans lequel la charpente, les murs porteurs, les planchers et le toit sont en maçonnerie ou en matériaux résistant au feu. La durée de résistance au feu doit être d'au moins 2 heures pour les planchers et les murs porteurs extérieurs, et d'une heure pour le toit. Aucun acier non protégé dans les murs ou le toit.

2. Maçonnerie - incombustible

Type de construction dans lequel les murs sont en maçonnerie ou en matériaux ayant une durée de résistance au feu d'au moins deux heures, et dans lequel les planchers, le toit et leurs éléments porteurs sont en matériaux incombustibles.

3. Incombustible

Type de construction dans lequel les murs, les planchers, le toit et les éléments porteurs sont en matériaux incombustibles (incluant les constructions en acier sur acier) et dont l'isolation est de fibre minérale.

4. Maçonnerie

Type de construction dans lequel les murs sont en maçonnerie ou en matériaux ayant une durée de résistance au feu d'au moins une heure, et dans lequel les planchers et le toit sont en matériaux combustibles. Font également partie de cette classe la construction ordinaire et la construction en gros bois d'œuvre.

5. Brique sur bois

Type de construction dans lequel les murs sont en matériaux combustibles revêtus, à l'extérieur, d'un parement de maçonnerie d'au moins 100 mm (4 pouces), et où les planchers et le toit sont en matériaux combustibles.

6. Bois

Type de construction dans lequel les murs extérieurs sont en matériaux combustibles ou incombustibles autres que Brique sur bois et où les planchers et le toit sont de construction combustible.

Cette classification est principalement établie en fonction de la gravité des pertes pouvant être causées par un incendie. Elle est un peu similaire à celle figurant dans le International Building Code [[International Code Council, 2015](#)].

Le bois lamellé-croisé, étant du gros bois d'œuvre, est classé chez les assureurs consultés en 4-ième catégorie. Selon eux, celle-ci est la meilleure en termes de risque d'incendie pour les bâtiments ayant des planchers et des toits en matériaux combustibles.

7 Actuariat et péril incendie

7.1 Contributions actuarielles

En général, les actuaires modélisent les coûts observés des sinistres liés au péril incendie.

Les actuaires ont aussi proposés des approches pour calculer des primes pour les contrats de réassurance pour le péril incendie.

Structure de la section:

- Le titre de la sous-section est le titre de l'article (ou du document).
- On a reproduit le résumé et fait de brefs commentaires.

7.2 The probability distribution of fire loss amount

Dans cet article, l'auteur examine la modélisation des coûts en sinistre pour le péril incendie : [\[Shpilberg, 1977\]](#).

Résumé : "Theoretical distributions frequently used to model fire loss amount are discussed. The problem of selecting models solely on the basis of statistics is addressed. Use of probabilistic arguments applied in Reliability theory to infer the type of probability distribution, is explored. The concept of failure rate of a fire is discussed and used to explore implications of the Pareto and Lognormal models as to the fire growth phenomenon. It is concluded that probabilistic arguments, regarding the nature of the fire growth process can aid analysts in their choice of an appropriate model for the probability distribution of fire loss amount."

7.3 Statistical models of claim distributions in fire insurance

Même s'il n'est pas récent, cet article me semble intéressant : [\[Benckert and Jung, 1974\]](#).

L'analyse porte spécifiquement sur le risque incendie.

Résumé : "The authors have studied the combined data on claims in fire insurance of dwelling houses reported 1958-1969 by Swedish fire insurance companies. The claims were cleared of deductibles and adjusted according to a suitable index. Only losses above the largest deductible (in real value) applied during the observation period were included. The material contains four different classes according to the fire resistibility of the building construction. For international comparisons, the pure classes B1 ("stone" dwellings) and B4 (wooden houses) are of interest. The distribution of the claims could be well approximated by the log-normal distribution in B1 and by the Pareto distribution in B4. An equally good or better fit was obtained by assuming the original loss, reported or not, being distributed according to these distributions and applying the distributions, conditioned by the loss being larger than the deductible. In both cases the distribution parameters are functions of the insurance amount in such a way, that the mean value of the loss is described as a power of this amount."

7.4 Deductibles in industrial fire insurance

Cet article porte sur l'assurance incendie industriel : [\[Strauss, 1975\]](#).

Il est fréquemment cité.

Résumé : "In recent times, the subject of deductibles in Industrial Fire insurance has gained significance to an increasing extent. In fact, up to a short time ago it was by no means common to apply deductibles in Industrial Fire insurance in Europe. The situation is entirely different in the USA where deductibles are the usual thing and are even obligatory with individual risk categories (e.g. petroleum refineries), hazards (e.g. explosion), or special types of companies (e.g. factory mutuals). Today, however, there is a definite increase in the demand for deductibles in Industrial Fire insurance in Europe, too. This trend may be explained by the fact that in order to reorganize their business successfully, insurers have been forced to increase their premiums by a considerable amount. It seems to be an unwritten law that when premiums in general are increased considerably, the point will some time or other be reached when the insured do not accept any further premium increases. Thus, even if such increases are completely justified in a view of claims experience, the insured will demand that premiums are reduced either by the insurer granting rebates for appropriate loss prevention measures or by the introduction of deductibles. In the USA, for example, such a situation arose around 1960 when considerable premium increases very quickly led to the introduction of substantial deductibles in Industrial business. In some European countries we are currently experiencing a similar development."

7.5 Economic Risk Capital and Reinsurance: an Extreme Value Theory's Application to Fire Claims of an Insurance Company

Cet article de 2001 me semble pertinent : [\[Corradin et al., 2002\]](#).

Les chercheurs viennent de LLN et travaillent dans la pratique.

Résumé : "The viability of an insurance company depends critically on the size and frequency of large claims. An accurate modelling of the distribution of large claims contributes to correct pricing's and reserving's decisions while maintaining, at an acceptable level, the unexpected fluctuations in the results through reinsurance. We provide a model for large losses and we extrapolate through a simulation a scenario based on separate estimation of loss frequency and loss severity according to extreme value theory, with particular reference to generalized Pareto approximations. We present an application to the fire claims of an insurance company. One conclusion is that the distribution of fire claims is long-tailed and an accurate exploratory data analysis is done to detect heavy tailed behavior and stability of parameters and statistics across different thresholds. We simulate the impact of a quota share and an excess of loss reinsurance structure on the distribution of total loss and on economic risk capital. We provide also a tool to price and investigate how different reinsurance programs can affect economic risk capital and explain the rationale of the choice of the optimal reinsurance programmes to smooth economic results."

8 Génie et péril incendie

8.1 Approche génie vs approche actuariat

Dans leurs travaux de recherche scientifiques, les ingénieurs examinent les aspects suivants :

- Temps de combustion de la structure ;
- Survie des occupants ;
- Respect du code du bâtiment ()
- ...

Dans leurs travaux de recherche scientifiques, les ingénieurs n'examinent pas (en général) les aspects suivants :

- Coûts de remplacement des structures ;
- Coûts de dommages aux structures ;
- ...

Structure de la section:

- Le titre de la sous-section est le titre de l'article (ou du document).
- On a reproduit le résumé et fait de brefs commentaires.

8.2 Probability and risk analysis

Il s'agit d'un ouvrage publié chez Springer, un équivalent du livre *Loss Models* [Klugman et al., 2012] pour les ingénieurs : [Rychlik and Rydén, 2006]

Il contient plusieurs exemples intéressants pour nous aider dans l'analyse du risque incendie, autant pour l'avènement d'un incendie que pour la gravité :

- Example 1.11 (Information on fires). Consider an initiation event A, fire ignition reported to a fire squad. After the squad has been alarmed and has done its duty at the place of accident, a form is completed where a lot of information about the fire can be found: type of alarm, type of building, number of staff involved, and much more."
- Example 2.7 (Fire ignition). Probabilities of ignitions have been studied intensively in fire-safety literature and formulae have been proposed for different types of buildings as well as different geographical locations.
- Etc.

Bref, nous pourrons y trouver des suggestions pour la recherche.

Résumé : "This book presents notions and ideas from the foundations of a statistical treatment of risks. Bayesian methods are frequently used in that area, hence a reasonable proportion of the presentation is devoted to such approaches. Modern statistical tools, namely Poisson regression, analysis of deviance, extreme-value theory and threshold methods are also used to identify and solve practical problems. The knowledge of such tools facilitates the understanding of the role of probability in risk analysis and proper use of outputs given by software packages. The book is written with a student in mind who has studied elementary undergraduate courses in engineering mathematics, perhaps including an introductory course in statistics. The text emphasizes an understanding of the theory and methods presented. Hence, comments are given verbally and an intuitive reasoning is frequent. This is not just another new textbook on elementary probability and statistics, but focuses strongly on applications within the field of risk and safety analysis."

8.3 A note on estimation of intensities of fire ignitions with incomplete data

Dans ([[Rydén and Rychlik, 2006](#)]), les auteurs examinent le problème d'occurrence d'un incendie via un processus de Poisson.

Ils examinent le problème d'exposition : **"The proposed methodology is specifically useful in the case with small data sets or lack of information about the population at risk."**

Résumé: "Occurrences of fire ignitions in a given region during a specified period of time are modelled as outcomes of a Poisson point process. The ignition frequency is considered a function of the total floor area of the building. Parameter estimates and their uncertainties are computed. Different criteria for model selection are used. The proposed methodology is specifically useful in the case with small data sets or lack of information about the population at risk."

8.4 Compartment fire risk analysis by advanced Monte Carlo simulation

Dans [Au et al., 2007], les auteurs proposent d'utiliser les méthodes de Monte Carlo pour analyser le comportement de structure (quelconque) exposé au risque incendie.

Résumé: "Quantitative fire risk analysis aims at providing an assessment of fire safety on a scientific basis and taking relevant uncertainties into account in a rational quantitative manner. Under a probabilistic approach, performance measures are formulated as multi-dimensional probability integrals, whose efficient computation is pivotal for practical implementation. Direct Monte Carlo method is a well-known technique, but it is not efficient for investigating rare failure events which are commonly encountered in engineering applications. A recently developed stochastic simulation approach called Subset Simulation is presented for quantitative fire risk analysis with a focus on the critical temperature in a compartment fire event. In the method, random samples leading to progressive failure are generated efficiently and they are used for computing probabilistic performance measures by statistical averaging. The random samples can also be used for probabilistic failure analysis, which yields information conditional on the occurrence of the failure event. A global approach is adopted for incorporating the uncertainties in the functionality of active fire measures into the fire risk analysis, where the failure probabilities can be obtained by a single simulation run rather than by multiple runs exhausting the possibilities in the associated event tree."

8.5 Dynamic modeling of fire spread in building

Le CRSNG a financé les travaux de cet article : [[Cheng and Hadjisophocleous, 2011](#)].

Les chercheurs travaillent à Carleton University.

Résumé : "Modeling fire spread in a building is a key factor of a fire risk analysis used for fire safety designs of large buildings. In this paper, a dynamic model of fire spread considering fire spread in both horizontal and vertical directions is described. The algorithms for simulating the fire spread process in buildings and calculating dynamic probability of fire spread for each compartment at each time step of simulation are proposed. The formulae used in calculating the input data for the dynamic fire spread model are derived. The dynamic fire spread model can easily be applied for any building including high-rise buildings. A detailed example of calculation of fire spread in a two-storey office building is described."

8.6 Fire risk analysis of a 6-storey residential building using CUriSk

Le CRSNG a financé les travaux de cet article : [\[Li et al., 2013\]](#).

Les chercheurs travaillent à Carleton University.

Résumé : "A quantitative fire risk analysis computer model CUriSk is being developed at Carleton University to evaluate the fire performance of buildings. For different fire scenarios, fire conditions in all the compartments of a building can be predicted by the Smoke Movement and Fire Growth submodels. CUriSk also considers fire spread from the compartment of fire origin to other compartments using the newly developed Fire Spread submodel. The results of these submodels as well as the outputs of the Occupant Response and Evacuation submodels are used by the Life Hazard and Economic Loss submodels to determine the consequences of each scenario in terms of expected number of deaths or injuries and fire losses. CUriSk takes into consideration the effect of different fire protection measures such as sprinkler systems, detectors and alarms and fire department actions. After analyzing all the possible fire scenarios, two final decision making parameters, the Expected Risk to Life and Fire Cost Expectation are calculated. A case-study using a six-storey residential building has been conducted using CUriSk and results are presented and analyzed in this paper."

8.7 The modeling of fire spread in buildings by Bayesian network

Le CRSNG a financé les travaux de cet article : [[Cheng and Hadjisophocleous, 2009](#)].

Les chercheurs travaillent à Carleton University.

Résumé : Fire spread modeling is very important to fire safety engineering and to insurance industries involved in fire risk-cost analysis of buildings. In this paper, the Bayesian network is introduced. The directed acyclic graph of a fire spread model is presented. When the fire ignition location is known, the fire spread model based on the Bayesian network from the compartment of fire origin to another compartment can be built, and the probability of fire spread can be calculated by making use of the joint probability distribution of the Bayesian network. A specific application for an office building is presented for a case without sprinkler and one with sprinkler installed.

8.8 Societal decision-making for optimal fire safety

Dans la thèse [[Fischer, 2014](#)], l'auteur examine le calcul de la prime en tenant des coûts en lien au péril incendie et tenant compte des coûts pour les mesures de réduction du péril incendie.

Le chapitre 4 me semble très pertinent : "Absolute risk assessment for societal decision support"

La thèse contient aussi des informations qui pourraient nous être utiles.

Résumé : "a"

8.9 A survey of 40,000 building fires in Switzerland

Cet article peut nous être utile et nous fournir des idées pour le projet (analyses, etc.) : [\[Fontana et al., 1999\]](#).

Résumé : "A survey of all building-fires in the canton of Berne for the period of 1986 to 1995 was performed by the ETH (Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich) and the GVB (Gebäudeversicherung des Kantons Bern) to establish a statistical database for fire safety engineering. It contains data on fire loss to the building structure (not the contents) from nearly 40,000 fires reported to the GVB over that period and may provide valuable information for fire safety engineering."

8.10 Fire performance of timber structures under natural fire conditions

Autre article à lire : [\[Frangi and Fontana, 2005\]](#)

Résumé: " In recent years the use of wood as a building material has become popular, especially for dwellings. One of the preconditions for its use is adequate fire safety. Technical measures, especially sprinkler and smoke detection systems, well equipped fire brigades and a better knowledge in the area of structural fire design of timber structures allow the use of timber in a wider field of application. Full scale tests on wooden modular hotels were performed under natural fire conditions to look at the efficiency of different fire safety concepts. In a first series the efficiency of technical measures, especially fast response sprinkler systems, was studied. The second series showed the possibility and limits of structural fire safety measures. Special attention was given to the influence of combustible room surfaces on fire growth and fire spread inside and outside the room. The tests enlarged the experimental data for validation of natural fire simulations (temperatures, fire spread etc.) and for verifying the methods for the fire resistance calculation of wood constructions."

Mario Fontana est auteur du présent article [\[Frangi and Fontana, 2005\]](#) ainsi que des articles [\[Fontana et al., 1999\]](#), [\[Fischer et al., 2015\]](#), et [\[De Sanctis et al., 2014\]](#).

8.11 Combining engineering and data-driven approaches: Calibration of a generic fire risk model with data

Cet article est à lire : [\[Fischer et al., 2015\]](#).

À mon avis, cet article pourra nous être utile pour notre projet.

Fischer est aussi l'auteur de la thèse [\[Fischer, 2014\]](#).

Le contenu du chapitre 4 de la thèse [\[Fischer, 2014\]](#) de l'article [\[Fischer et al., 2015\]](#).

Résumé : "Two general approaches may be followed for the development of a fire risk model: statistical models based on observed fire losses can support simple cost-benefit studies but are usually not detailed enough for engineering decision-making. Engineering models, on the other hand, require many assumptions that may result in a biased risk assessment. In two related papers we show how engineering and data-driven modelling can be combined by developing generic risk models that are calibrated to statistical data on observed fire events. The focus of the present paper is on the calibration procedure. A framework is developed that is able to deal with data collection in non-homogeneous portfolios of buildings. Also incomplete data sets containing only little information on each fire event can be used for model calibration. To illustrate the capabilities of the proposed framework, it is applied to the calibration of a generic fire risk model for single family houses to Swiss insurance data. The example demonstrates that the bias in the risk estimation can be strongly reduced by model calibration."

8.12 Combining engineering and data-driven approaches: Development of a generic fire risk model facilitating calibration

Cet article est à lire : [\[De Sanctis et al., 2014\]](#).

À mon avis, cet article pourra nous être utile pour notre projet.

Un des auteurs est Fischer, aussi l'auteur de la thèse [\[Fischer, 2014\]](#).

Le contenu du chapitre 4 de la thèse [\[Fischer, 2014\]](#) de l'article [\[De Sanctis et al., 2014\]](#).

Résumé: "Fire risk models support decision making for engineering problems under the consistent consideration of the associated uncertainties. Empirical approaches can be used for cost-benefit studies when enough data about the decision problem are available. But often the empirical approaches are not detailed enough. Engineering risk models, on the other hand, may be detailed but typically involve assumptions that may result in a biased risk assessment and make a cost-benefit study problematic. In two related papers it is shown how engineering and data-driven modeling can be combined by developing a generic risk model that is calibrated to observed fire loss data. Generic risk models assess the risk of buildings based on specific risk indicators and support risk assessment at a portfolio level. After an introduction to the principles of generic risk assessment, the focus of the present paper is on the development of a generic fire risk model for single family houses as an example. The risk model considers the building characteristics of a single family house as well as the uncertainties associated with the fire spread in a building and the intervention of the fire brigade."

8.13 Building Fire Risk Analysis

À lire : [[Meacham et al., 2016](#)]

Résumé : Building Fire Risk Analysis provides insight into how to enhance the design, construction and management of our built environment. Fire safety, as a concept, branches into all manner of fields. It can affect a building's design and appearance, its capital and ongoing costs, its day-to-day functionality and above all the community or business it serves – in the event of a fire. Understanding risk is fundamental for consultants, approval organizations, Fire Brigades, insurers and regulators. Fire risk is embedded within codes and guidance – where decisions have been made about what is reasonable and practicable for buildings based on their size and use. This chapter explores what risk is and how it may be understood for future decision making throughout the fire safety industry. Risk herein is defined as the possibility of an unwanted outcome in an uncertain situation. Three key factors are: loss or harm of something; the event(s) that causes loss; and, the likelihood it will occur. The unwanted outcome generally affects life safety, property, business continuity, heritage, the environment, or a combination of these. The reality of our built environment, both now and in the future, is that unwanted outcomes are subject to a variety of active, passive and managerial systems which all contribute to improving safety and reducing risk. Risk assessment allows these systems to be fairly understood and the best decisions made to address the needs required.

Keywords: Fire Protection ; Fire Safety ; Fire Risk ; Fire Scenario ; Fault Tree Analysis

8.14 Principles of fire risk assessment in buildings

Lire le chapitre 3 (et d'autres chapitres) du livre suivant : [Yung, 2008].

Résumé: " This book arrives at just the right time to facilitate understanding of performance-based fire risk assessment in buildings - an integral part of the global shift in policy away from traditional prescriptive codes. Yung, an internationally recognised expert on the subject of fire risk assessment, introduces the basic principles and techniques that help the reader to understand the various methodologies that are currently in place or being proposed by different organisations. Through his illustration of basic principles and techniques he enables the reader to conduct their own fire risk assessments. He demonstrates how the probabilities of fire scenarios are assessed based on the probabilities of success and failure of fire protection measures that are in place. He also shows how the consequences of fire scenarios are assessed based on the intensity and speed of fire and smoke spread, the probability and speed of occupant response and evacuation, and the effectiveness and speed of fire department response and rescue efforts. Yung's clear and practical approach to this highly topical subject enables the reader to integrate the various tools available into a quantitative framework that can be used for decision making. He brings an invaluable resource to all those involved in fire engineering and risk assessment, including students, academics, building designers, fire protection engineers, structural engineers, regulators and risk analysts."

8.15 The economics of fire protection

Livre à lire : [\[Ramachandran, 2002\]](#).

L'auteur du livre [\[Ramachandran, 2002\]](#) est un spécialiste dans le domaine.

Titre du chapitre 11 du livre : "Fire insurance".

Extrait du premier paragraphe du chapitre 11 : "The object of this chapter is to briefly review the statistical problems involved in fire insurance and discuss the calculation of rebates in insurance premiums for deductibles and fire protection measures in industrial fire insurance. "

Selon cet auteur, **"The interaction between fire protection and insurance has not received sufficient attention in actuarial literature."** (premier paragraphe du chapitre 11).

Dans le chapitre 11, il présente "sa" méthodologie pour modéliser les coûts liés au péril incendie et pour calculer une prime. Sa méthodologie a été appliquée par d'autres chercheurs.

Nombre de citations : 140 (en date du 2021-06-16).

Il est aussi auteur des contributions suivantes : [\[Ramachandran and Hall, 2016\]](#), [\[Ramachandran, 1980\]](#), [\[Ramachandran and Charters, 2011\]](#), etc.

Il faudrait les regarder.

Résumé : "This important new book, the first of its kind in the fire safety field, discusses the economic problems faced by decision-makers in the areas of fire safety and fire precautions. The author considers the theoretical aspects of cost-benefit analysis and other relevant economic problems with practical applications to fire protection systems. Clear examples are included to illustrate these techniques in action. The work covers:

- * the performance and effectiveness of passive fire protection measures such as structural fire resistance and means of escape facilities, and active systems such as sprinklers and detectors
- * the importance of educating for better understanding and implementation of fire prevention through publicity campaigns and fire brigade operations
- * cost-benefit analysis of fire protection measures and their combinations, taking into account trade-offs between these measures.

The book is essential reading for consultants and academics in construction management, economics and fire safety, as well as for insurance and risk management professionals."

8.16 Measuring Consequences in Economic Terms

À lire : [\[Ramachandran and Hall, 2016\]](#)

L'auteur de [\[Ramachandran and Hall, 2016\]](#) est un spécialiste dans le domaine. Il a composé plusieurs articles, dont au moins un dans ASTIN.

Résumé : "In any fire risk analysis or risk-based assessment, valid measurements of the severity of the fire hazard—the consequences of fire, if it occurs—are of paramount importance. Most analyses are limited to simple outcome measures, such as numbers of deaths or injuries or direct property damage, defined as direct harm to property requiring repair or replacement."

8.17 Statistical methods in risk evaluation (fire)

Article à lire : [[Ramachandran, 1980](#)].

Résumé : "This paper is concerned with the statistical methods involved in the evaluation of fire risk in an industry.

The risk could be expressed in terms of two main components—the probability of fire starting and the probability of damage reaching various levels in a fire. The latter probability involves the concept of probability distribution of fire loss, the nature of which is discussed with reference to statistical and physical considerations. The values of the parameters of this distribution and the probability of fire starting will vary depending on factors such as sources of ignition, size of the property, and the presence or absence of sprinklers.

It is shown how results for a group of similar properties could be modified for evaluating the risk in an individual property. For this purpose, detailed particulars of the property and processes will be required. If individual figures for financial losses are available only for large fires the parameters of the probability distribution of fire loss can be estimated by applying the statistical theory of extreme values. Basic principles of this theory and its practical uses are explained. As a project for further research it is proposed that a model based on stochastic processes should be developed for predicting the spread of fire in a building. An outline of such a model is given specifying the data required for estimating and validating the parameters of the model."

8.18 Quantitative Risk Assessment in Fire Safety

Autre livre de notre ami Ramachandran : [[Ramachandran and Charters, 2011](#)].

Résumé: "Fire safety regulations in many countries require Fire Risk Assessment to be carried out for buildings such as workplaces and houses in multiple occupation. This duty is imposed on a "Responsible Person" and also on any other persons having control of buildings in compliance with the requirements specified in the regulations. Although regulations only require a qualitative assessment of fire risk, a quantitative assessment is an essential first step for performing cost-benefit analysis of alternative fire strategies to comply with the regulations and selecting the most cost-effective strategy. To facilitate this assessment, various qualitative, semi-quantitative and quantitative techniques of fire risk assessment, already developed, are critically reviewed in this book and some improvements are suggested. This book is intended to be an expanded version of Part 7: Probabilistic risk assessment, 2003, a Published Document (PD) to British Standard BS 7974: 2001 on the Application of Fire Safety Engineering Principles to the Design of Buildings. Ganapathy Ramachandran and David Charters were co-authors of PD 7974 Part 7. Quantitative Risk Assessment in Fire Safety is essential reading for consultants, academics, fire safety engineers, fire officers, building control officers and students in fire safety engineering. It also provides useful tools for fire protection economists and risk management professionals, including those involved in fire insurance underwriting."

8.19 Economics of fire: exploring fire incident data for a design tool methodology

Thèse de doctorat : [Salter, 2013]

Voir le chapitre 5 pour une analyse de données liées au péril incendie.

Résumé: "Fires within the built environment are a fact of life and through design and the application of the building regulations and design codes, the risk of fire to the building occupants can be minimised. However, the building regulations within the UK do not deal with property protection and focus solely on the safety of the building occupants. This research details the statistical analysis of the UK Fire and Rescue Service and the Fire Protection Association's fire incident databases to create a loss model framework, allowing the designers of a building's fire safety systems to conduct a cost benefit analysis on installing additional fire protection solely for property protection. It finds that statistical analysis of the FDR 1 incident database highlights the data collection methods of the Fire and Rescue Service ideally need to be changed to allow further risk analysis on the UK building stock, that the statistics highlight that the incidents affecting the size of a fire are the time from ignition to discovery and the presence of dangerous materials, that sprinkler activations may not be as high as made out by sprinkler groups and that the activation of an alarm system gives a smaller size fire. The original contribution to knowledge that this PhD makes is to analyse the FDR 1 database to try and create a loss model, using data from both the Fire Protection Association and the Fire and Rescue Service."

Note : je crois que le superviseur de l'auteur est notre ami Ramachandran.

8.20 Générateur de scénarios d’incendie (CUriSk)

Le contenu de cette sous-section provient du rapport [Cossette et al., 2018].

Important :

- Christian Dagenais connaît l’existence de ce générateur (rencontre en mai 2021).
- Selon lui, nous ne pourrions pas avoir accès au générateur.

Il existe des générateurs de scénarios d’incendie qui sont basés sur une large et exhaustive appréhension du comportement du feu. À titre d’exemple, Carleton University a élaboré un logiciel générateur de scénarios, basé sur plusieurs sous-modèles : propagation du feu, croissance du feu, mouvement de la fumée, réponse des occupants, analyse du risque vie et analyse des dégâts occasionnés au bâtiment.

Dans les études de cas [Zhang et al., 2015b] et [Zhang et al., 2015a], CUriSk a permis de générer plusieurs scénarios qui sont des combinaisons des caractéristiques du bâtiment, à savoir les informations concernant les murs, les planchers, les portes et les fenêtres. Des informations concernant la présence ou non des gicleurs et le temps de réponse des pompiers peuvent aussi être pris en considération. Chaque scénario est initié par le choix du design de l’incendie (endroit d’initiation, heure d’initiation, etc.), puis le sous-modèle de croissance du feu permet de prédire les conditions de la propagation du feu dans les autres compartiments. Ensuite, les sous-modèles de mouvement de la fumée et de propagation du feu servent à calculer la probabilité de propagation du feu vers les autres compartiments. Les informations relatives au bâtiment sont ensuite introduites dans les autres sous-modèles qui nous informent sur le risque de perte humaine et les coûts occasionnés par le sinistre au bâtiment.

Ce générateur de scénarios pourrait être utilisé par les assureurs pour remédier, dans le cadre de la tarification en assurance des chantiers de construction des bâtiments en CLT, au problème de manque de données. Il est vraisemblable que ce modèle ne capte pas toute l’information présente dans un vrai incendie, mais plusieurs sous-modèles utilisés ont été testés et validés avec des données réelles disponibles dans la littérature comme, par exemple, les sous-modèles de mouvement de la fumée et de propagation du feu validés selon [Zhang and Hadjisophocleous, 2012]. Ceci dit, d’après [Xin and Huang, 2013], les pertes humaines estimées par CUriSk ont été comparées aux données réelles d’incendie en Ontario et aucun écart notable n’a été observé.

En faisant usage de CUriSk ou d’un autre générateur de scénarios semblable à celui-ci, et en s’adaptant au contexte de construction au Québec, les promoteurs et les chercheurs en génie du bois pourraient produire des tests quantifiant les pertes financières occasionnées au bâtiment en plus des tests assurant juste le respect des normes du code du bâtiment. Ce contraste de perspective est dû à la fonction objective qui n’est pas la même pour les assureurs (perspective de pertes financières) que pour la régie du bâtiment (perspective de pertes humaines).

9 Bois massif, péril incendie et assurabilité

9.1 Contexte

On indique les travaux menés qui examinent/discutent des trois aspects suivants: bois massif, péril incendie et assurabilité.

Structure de la section:

- Le titre de la sous-section est le titre de l'article (ou du document).
- On a reproduit le résumé et fait de brefs commentaires.

9.2 Projet de la CIRCERB 2017

Face à ces divergences, la Chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB) de l'Université Laval a jugé nécessaire de réaliser une étude portant sur l'adéquation de la prime attribuée aux structures en CLT ainsi que sur la méthode actuarielle sur laquelle est basée son évaluation. Un projet de recherche a donc été lancé à dans le but d'étudier le processus de tarification des polices d'assurance construction pour les structures en CLT. Réalisé à l'École d'Actuariat de l'Université Laval, par Mohammed-Amine Ennajeh et Anas Koubaa sous la supervision d'Étienne Marceau et Hélène Cossette, le projet avait pour objectifs de :

- Expliciter les éléments influençant la prime d'assurance en construction au Canada ;
- Tarifier les risques associés aux périls inhérents à un chantier de construction en bois lamellé-croisé ;
- Déterminer les facteurs responsables de la surévaluation de la prime proposée par les assureurs.

Dans leur rapport [Cossette et al., 2018] pour ce projet, les auteurs ...

Enquête auprès d'actuaire, de souscripteurs et d'experts du secteur canadien de l'assurance ([Cossette et al., 2018])

- Deux principaux obstacles pour l'assurabilité des chantiers de construction pour les produits CLT sont la taille du marché et le manque de données sur son sinistre
- En l'absence de données sur les sinistres, les actuaire et les souscripteurs ont différentes approches en fonction de leur appétit pour le risque et selon le plan de souscription :
 - classer le projet de construction CLT selon l'une des 6 classes de construction ISO existantes
 - le choix de la classe dépend de l'appréciation des souscripteurs
 - le choix le plus défavorable est la classe de construction 1
 - le choix le plus favorable est la classe de construction 3
 - voir aussi [Teasel, 2020]

9.3 Actuariat et bois massif : enjeux importants (JP Boucher)

D'après [Cossette et al., 2018], il n'y a pas de contribution actuarielle académique sur les sujets suivant :

- Assurance chantier / assurance construction
- Risque incendie vs bois massif
- Niet

Selon JP Boucher, les deux enjeux importants sont les suivants :

- Loi de fréquence \Rightarrow exposition
- Loi de la sévérité \Rightarrow sinistres avec des montants élevés

Modélisation de la distribution de fréquence:

- Il manque de données.
- L'exposition est cruciale pour le calcul de prime

Modélisation de la distribution de sévérité:

- On a des données
- Il faut jouer avec les données
- On y travaille

9.4 Joint research project by NFPA & Property Insurance Research Group

In 2014, the US National Fire Protection Association (NFPA) and the Property Insurance Research Group (PIRG) launched the following research project :

- Name: Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings
- Main objective: analyze and quantify the fire risk for CLT structures vis-à-vis other structures used in high-rise buildings

Sponsors :

1. American Wood Council (AWC)
2. US Department of Agriculture, Forest Service
3. National Research Council (NRC) of Canada
4. Property Insurance Research Group (PIRG):
 - AIG (AIG = American International Group, Inc.)
 - CNA Insurance (CNA = Continental National American Group)
 - FM Global (FM = Factory Mutual)
 - Liberty Mutual Insurance
 - Tokio Marine America
 - Travelers Insurance
 - Verisk (ISO)
 - XL Group (Axa XL since September 2018)
 - Zurich Insurance Group

Property Insurance Research Group (the "PIRG"):

- Formed in 2010 to support the mission and activities of the Research Foundation of NFPA
- Provide a forum for members of the property insurance industry to discuss industry-relevant fire protection issues and identify related research needs that could be met through research projects conducted by the Foundation
- Provide a continuing mechanism to recommend research projects to the Foundation and to provide, through a fund consisting of member contributions (the "PIRG Fund"), financial support for PIRG-recommended projects undertaken by the Foundation.

Completed reports :

1. Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings Phase 1: [Gerard et al., 2013]
2. Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings Phase 2 Task 1 Literature Review: [Brandon and Östman, 2016]
3. Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings Phase 2 Tasks 2-3 Development and Implementation of CLT Compartment Fire Tests : [Su et al., 2018]
4. Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings Phase 2 Tasks 4 Engineering Methods : [Brandon, 2018]

5. Fire Safety Challenges of Tall Wood Buildings Phase 2 Tasks 5 Experimental Study of Delamination of Cross Laminated Timber (CLT) in Fire : [[Brandon and Dagenais, 2018](#)]

Main goal of Phase 2 : "To quantify the contribution of CLT building elements (wall and/or floor-ceiling assemblies) in compartment fires and evaluate the relative performance of CLT systems compared to other buildings systems commonly used in tall buildings."

This involvement of the PIRG in this project demonstrates the interest of major insurers and reinsurers to better identify and understand the risk associated with CLT structures for the construction of high-rise buildings.

Given that the CLT has robust characteristics in terms of behavior and response to the various perils, insurers have deemed it necessary to launch this study in order to better quantify and price the risk inherent in CLT while waiting to observe its true loss experience.

10 Conclusion

[...]

Acknowledgment

This work was partially supported by ...

References

- Albrecher, H., Beirlant, J., and Teugels, J. L. (2017). *Reinsurance: actuarial and statistical aspects*. John Wiley & Sons.
- Antal, D. P. and Re, S. (2007). Mathematical methods in reinsurance. *Lecture Notes, ETH Zurich*.
- Au, S. K., Wang, Z.-H., and Lo, S.-M. (2007). Compartment fire risk analysis by advanced monte carlo simulation. *Engineering Structures*, 29(9):2381–2390.
- Benckert, L.-G. and Jung, J. (1974). Statistical models of claim distributions in fire insurance. *ASTIN Bulletin: The Journal of the IAA*, 8(1):1–25.
- Brandon, D. (2018). Fire safety challenges of tall wood buildings phase 2: Task 4 - engineering methods. *Technical Report Fire Protection Research Foundation*.
- Brandon, D. and Dagenais, C. (2018). Fire safety challenges of tall wood buildings phase 2: Task 5 - experimental study of delamination of cross laminated timber (clt) in fire. *Technical Report Fire Protection Research Foundation*.
- Brandon, D. and Östman, B. (2016). Fire safety challenges of tall wood buildings phase 2: Task 1 - literature review. *Technical Report Fire Protection Research Foundation*.
- Bunni, N. G. (2003). *Risk and insurance in construction*. Routledge.
- Cheng, H. and Hadjisophocleous, G. V. (2009). The modeling of fire spread in buildings by bayesian network. *Fire Safety Journal*, 44(6):901–908.
- Cheng, H. and Hadjisophocleous, G. V. (2011). Dynamic modeling of fire spread in building. *Fire Safety Journal*, 46(4):211–224.
- Clark, D. R. (1996). Basics of reinsurance pricing. *CAS Study Note*, pages 41–43.
- Corradin, S., Spa, R., and di Gruppo, P. R. (2002). Economic risk capital and reinsurance: an extreme value theory’s application to fire claims of an insurance company. *University Catholic de Louvain: Institute of statistics*.
- Cossette, H., Ennajeh, M. A., Koubaa, A., and Marceau, E. (2018). Assurabilité des structures en bois lamellé-croisé. *Technical Report CIRCERB ULaval*.
- De Sanctis, G., Fischer, K., Kohler, J., Faber, M. H., and Fontana, M. (2014). Combining engineering and data-driven approaches: Development of a generic fire risk model facilitating calibration. *Fire safety journal*, 70:23–33.
- Denuit, M., Hainaut, D., and Trufin, J. (2019). *Effective statistical learning methods for actuaries I-II-III*. Springer.
- Denuit, M., Maréchal, X., Pitrebois, S., and Walhin, J.-F. (2007). *Actuarial modelling of claim counts: Risk classification, credibility and bonus-malus systems*. Wiley.
- Dionne, G. et al. (2013). *Handbook of insurance*. Springer.
- Fischer, K. (2014). Societal decision-making for optimal fire safety. *Bericht IBK*, 357.
- Fischer, K., De Sanctis, G., Kohler, J., Faber, M. H., and Fontana, M. (2015). Combining engineering and data-driven approaches: Calibration of a generic fire risk model with data. *Fire Safety Journal*, 74:32–42.
- Fontana, M., Favre, J., and Fetz, C. (1999). A survey of 40,000 building fires in switzerland. *Fire safety journal*, 32(2):137–158.

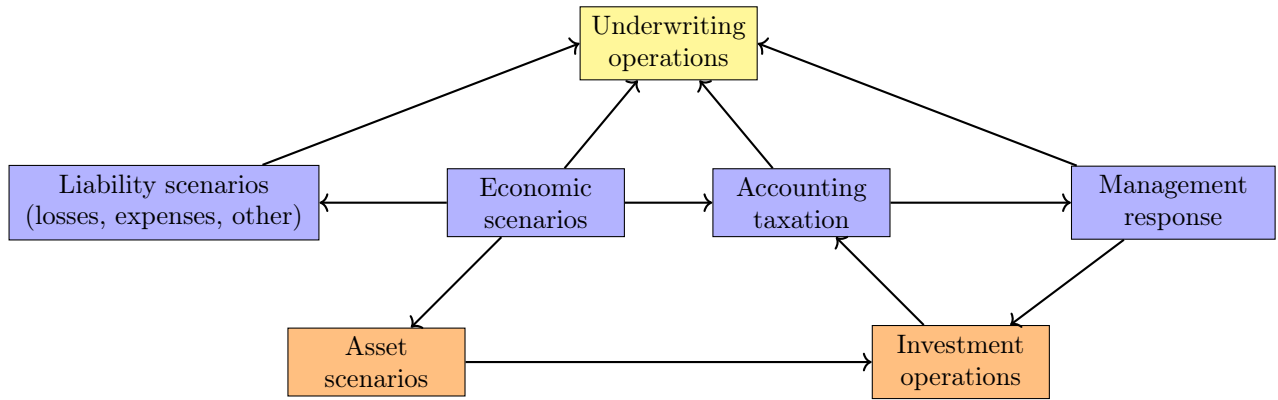
- Frangi, A. and Fontana, M. (2005). Fire performance of timber structures under natural fire conditions. *Fire Safety Science*, 8:279–290.
- Frees, E. W. (2015). Analytics of insurance markets. *Annual Review of Financial Economics*, 7:253–277.
- Frees, E. W., Derrig, R. A., and Meyers, G. (2014). *Predictive modeling applications in actuarial science*, volume 1. Cambridge University Press.
- Gerard, R., Barber, D., and Wolski, A. (2013). Fire safety challenges of tall wood buildings. *Technical Report Fire Protection Research Foundation*.
- Harrington, S. E. and Niehaus, G. (1999). *Risk management and insurance*. McGraw-Hill/Irwin.
- Imriyas, K. (2009). An expert system for strategic control of accidents and insurers’ risks in building construction projects. *Expert Systems with Applications*, 36(2):4021–4034.
- International Code Council (2015). International building code. Chapter 6.
- Klugman, S. A., Panjer, H. H., and Willmot, G. E. (2012). *Loss models: from data to decisions*, volume 715. John Wiley & Sons.
- Lavarny, O. (2018). Provisionnement et risque de reserve en assurance construction. *Mémoire d’actuariat*.
- Li, X., Zhang, X., and Hadjisophocleous, G. (2013). Fire risk analysis of a 6-storey residential building using curisk. *Procedia engineering*, 62:609–617.
- Lynch, J. (2006). Commercial multi-peril insurance. *Encyclopedia of Actuarial Science*, 1.
- Meacham, B. J., Charters, D., Johnson, P., and Salisbury, M. (2016). Building fire risk analysis. In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, pages 2941–2991. Springer.
- Michaelides, N. et al. (1997). The premium rating of commercial risks. *General Insurance Convention*.
- Nataf, R. (2014). Les méthodes de provisionnement en assurance de construction. *Mémoire d’actuariat*.
- Ohlsson, E. and Johansson, B. (2010). *Non-life insurance pricing with generalized linear models*. Springer.
- Outreville, J. F. (1998). *Theory and practice of insurance*. Springer Science & Business Media.
- Parodi, P. (2014). *Pricing in general insurance*. CRC Press.
- Ramachandran, G. (1980). Statistical methods in risk evaluation. *Fire Safety Journal*, 2(2):125–145.
- Ramachandran, G. (2002). *The economics of fire protection*. Routledge.
- Ramachandran, G. and Charters, D. (2011). *Quantitative risk assessment in fire safety*. Routledge.
- Ramachandran, G. and Hall, J. R. (2016). Measuring consequences in economic terms. In *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, pages 3098–3116. Springer.
- Rychlik, I. and Rydén, J. (2006). *Probability and risk analysis*. Springer.
- Rydén, J. and Rychlik, I. (2006). A note on estimation of intensities of fire ignitions with incomplete data. *Fire safety journal*, 41(5):399–405.
- Salter, C. (2013). *Economics of fire: exploring fire incident data for a design tool methodology*. PhD thesis, Loughborough University.
- Shpilberg, D. C. (1977). The probability distribution of fire loss amount. *Journal of Risk and Insurance*, pages 103–115.

- Strauss, J. (1975). Deductibles in industrial fire insurance. *ASTIN Bulletin: The Journal of the IAA*, 8(3):378–393.
- Su, J., Lafrance, P.-S., Hoehler, M., and Bundy, M. (2018). Fire safety challenges of tall wood buildings phase 2: Tasks 2 and 3 - cross laminated timber compartment fire tests. *Technical Report Fire Protection Research Foundation*.
- Syed, T. (2020). Identifying mass timber research priorities, barriers to adoption and engineering, procurement and construction challenges in canada. *University of Toronto*.
- Teasel, A. (2020). Insurance for tall mass timber buildings: Examining how to reduce rates and expand access. *Technical Report Canadian Wood Council*.
- Vaughan, E. J. and Vaughan, T. (2007). *Fundamentals of risk and insurance*. John Wiley & Sons.
- Xin, J. and Huang, C. (2013). Fire risk analysis of residential buildings based on scenario clusters and its application in fire risk management. *Fire Safety Journal*, 62:72–78.
- Yung, D. (2008). *Principles of fire risk assessment in buildings*. John Wiley & Sons.
- Zhang, X. and Hadjisophocleous, G. (2012). An improved two-layer zone model applicable to both pre-and post-flashover fires. *Fire safety journal*, 53:63–71.
- Zhang, X., Li, X., Rao, P., and Hadjisophocleous, G. (2015a). A case study on the effect of building construction type, height and area on the building fire risk. *Research Gate*.
- Zhang, X., Mehaffey, J., and Hadjisophocleous, G. (2015b). Case studies of risk-to-life due to fire in mid-and high-rise, combustible and non-combustible buildings using curisk. *Final Report. Ottawa (ON): Carleton University*.

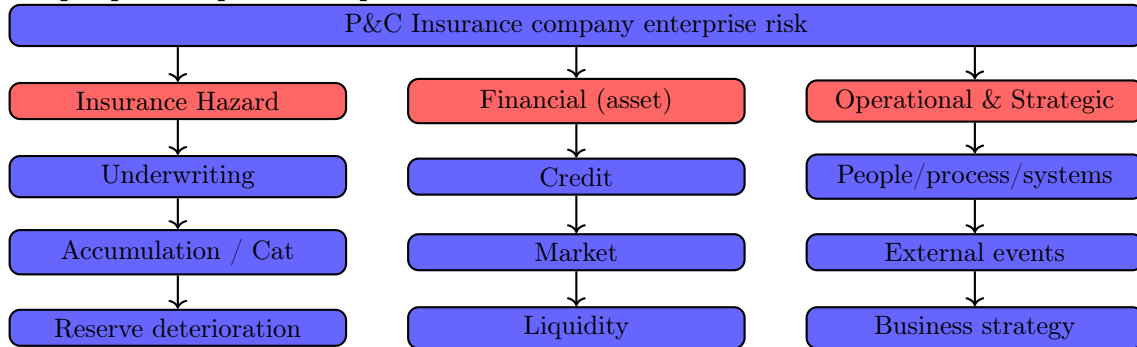
ANNEXES

A Deux graphiques de Christopher

Graphique no2 par Christopher du courriel



Graphique no3 par Chrisopher du courriel



Taxonomie du risque tiré de Brehm, P.; Gluck, S.; Kreps, R.; Major, J.; Mango, D.; Shaw, R.; Venter, G.; White, S.; and Witcraft, S., Guy Carpenter, “Enterprise Risk Analysis for Property & Liability Insurance Companies,”