



HAL
open science

**Maîtrise de la sinistralité liée aux événements
climatiques et aux catastrophes naturelles en assurance
non vie**

Julien Lanoë

► **To cite this version:**

Julien Lanoë. Maîtrise de la sinistralité liée aux événements climatiques et aux catastrophes naturelles en assurance non vie. Gestion des risques [q-fin.RM]. 2014. dumas-01073311

HAL Id: dumas-01073311

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01073311>

Submitted on 22 Nov 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Mémoire présenté devant
l'UFR de Mathématique et d'Informatique
pour l'obtention du Diplôme Universitaire d'Actuaire de Strasbourg
et l'admission à l'Institut des Actuaire**

le 02 octobre 2014

Par : Julien LANOË

Titre: Maîtrise de la sinistralité liée aux événements climatiques et aux catastrophes naturelles en assurance non vie

Confidentialité : NON OUI (Durée : 1 an 2 ans)

Les signataires s'engagent à respecter la confidentialité indiquée ci-dessus

Membres du jury de l'Institut des Actuaire

M. Christian Hess

Mme Stéphanie Foata

signature

Nom : MAIF

Signature :

Directeur de mémoire en entreprise :

Nom : M. Fabrice OGER

Signature :

Invité :

Nom :

Signature :

Autorisation de publication et de mise en ligne sur un site de

diffusion de documents actuariels

(après expiration de l'éventuel délai de confidentialité)

Signature du responsable entreprise

Signature du candidat

Membres du jury de l'UdS :

M. Jacques Franchi

M. Karl-Théodor Eisele

M. Jean-Lucien Netzer

M. Jean Bérard

Invités :

M. Dubois

M. Fitouchi

Mme Foata

M. Gadenne

M. Hess

Mme Kelle-Vigon

Mme Maumy-Bertrand

M. Modry

M. Vigon

M. You

**Mémoire présenté devant
l'UFR de Mathématique et Informatique
pour l'obtention du Master Mathématiques et Application, spécialité Statistique, parcours
Actuariat
le 02 octobre 2014**

Par : Julien LANOË

Titre: Maîtrise de la sinistralité liée aux événements climatiques et aux
catastrophes naturelles en assurance non vie

Confidentialité : NON OUI (Durée : 1 an 2 ans)

Les signataires s'engagent à respecter la confidentialité indiquée ci-dessus

Membres du jury de l'Institut des
Actuaires

M. Christian Hess

Mme Stéphanie Foata

signature

Entreprise :

Nom : MAIF

Signature :

Membres du jury de l'UdS :

M. Jacques Franchi

M. Karl-Théodor Eisele

M. Jean-Lucien Netzer

M. Jean Bérard

Directeur de mémoire en entreprise :

Nom : M. Fabrice OGER

Signature :

Invité :

Nom :

Signature :

Invités :

M. Dubois

M. Fitouchi

Mme Foata

M. Gadenne

M. Hess

Mme Kelle-Vigon

Mme Maumy-Bertrand

M. Modry

M. Vigon

M. You

**Autorisation de publication et de
mise en ligne sur un site de
diffusion de documents
actuariels (après expiration de
l'éventuel délai de confidentialité)**

Signature du responsable entreprise

Signature du candidat

Université de Strasbourg
Faculté de mathématiques

Mémoire d'actuariat
Maître de stage : M. Fabrice OGER
Tuteur universitaire : M. Alexandre YOU

Maîtrise de la sinistralité liée aux événements climatiques et aux catastrophes naturelles en assurance non vie

Julien LANOË

Strasbourg, 02 octobre 2014

Résumé : Le résultat technique des sociétés d'assurance non-vie demeure très vulnérable au risque catastrophe. Alors que certaines années sont marquées par une fréquence importante de phénomènes naturels, d'autres sont frappées par des événements de grande ampleur comme ce fut le cas en décembre 1999 avec les tempêtes Lothar et Martin. Les enjeux économiques des Cat-Nat étant conséquents, les assureurs doivent en maîtriser leurs risques. Ainsi, le montant des pertes liées aux événements naturels doit être prédit pour la tarification des garanties ainsi que dans le cadre de dossiers prévisionnels comme le plan stratégique. À cet effet, les prédictions reposent sur l'historique mais aussi sur des jeux de scénarios issus de modèles stochastiques spécialisés. À partir de ces événements probabilistes, l'assureur peut recomposer les charges brutes via des simulations. Sur la base de ces pertes recomposées, la société d'assurance peut également adapter ses stratégies de réassurance.

Mots clés : Cat-Nat ; Événements climatiques ; Réassurance ; Simulations ; Période de retour ; Maîtrise des risques ; Appétence au risque

Abstract : Technical results of non-life insurers is highly exposed to catastrophe risks. Calendar years might be either affected by a lot of natural phenomenons or by large-scale events, such as Lothar and Martin's December 1999's storms. In order to control their economics issues, insurers have to deal with these kind of events. The amount of losses they lead to must be predict for, in one hand, pricing guarantees, and in the other hand, forecasting studies like business plans. For this purpose, projections are past-based but they are also set on stochastic models, from which, insurers can reconstruct gross charges with simulations. Thanks to these simulations, insurance companies can adapt their own reinsurance strategies.

Keywords : Nat Cat ; Climatic events ; Reinsurance ; Simulations ; Return period ; Risk control ; Risk appetite

Remerciements

Tout d'abord, je remercie vivement la société MAIF pour m'avoir permis d'effectuer mon stage de dernière année au sein de la Division Actuariat, Assurance & Réassurance. J'adresse des remerciements particuliers à mon maître de stage M. Fabrice OGER, responsable du secteur Actuariat & Provisionnement, qui a su cadrer mon travail et me guider dans l'élaboration de ce rapport de stage. Un grand merci à M. Patrice RADIN pour son expertise et ses précieuses aides tout au long de mon stage.

Mes remerciements s'adressent également à M. Alexandre YOU qui s'est montré à l'écoute et très disponible lors de ces travaux.

Merci à tous les membres de la division pour leur bonne humeur, leur accueil, leur disponibilité et leurs conseils.

Table des matières

Remerciements	7
Liste des abréviations	10
Introduction	11
1 La sinistralité	14
1.1 Sinistralité en assurance non vie	14
1.1.1 Les sinistres attritionnels	14
1.1.2 Les sinistres exceptionnels	15
1.1.3 Les sinistres catastrophes	15
1.2 Sinistres climatiques et catastrophes naturelles	15
1.2.1 Les catastrophes naturelles	17
1.2.2 Les événements climatiques	21
1.2.3 Les catastrophes technologiques	24
1.3 Traitement en réassurance des phénomènes naturels	25
1.3.1 Protection de réassurance	25
1.3.2 Phénomènes naturels : couvertures de réassurance	29
2 Modélisation de la sinistralité catastrophique	32
2.1 Deux approches de la modélisation des phénomènes naturels	33
2.1.1 Modèle déterministe	33
2.1.2 Modèle probabiliste	34
2.1.3 Comparaison des deux modèles	35
2.2 Modélisation stochastique de la sinistralité	35
2.2.1 L'aléa	36
2.2.2 La vulnérabilité	37
2.2.3 Les dommages	38
2.3 Jeux d'événements	38
2.3.1 Extrait d'un jeu d'événements	38
2.3.2 Explication des variables	39

3	Maîtrise des risques climatiques et catastrophes naturelles	42
3.1	Introduction	42
3.2	Recomposition de la sinistralité catastrophe	44
3.2.1	Fréquence	44
3.2.2	Loi des coûts	45
3.2.3	Processus de modélisation	49
3.3	Etude des charges modélisées	53
3.3.1	Statistiques descriptives	54
3.3.2	Mise en regard avec l'historique MAIF	61
3.3.3	Outil de mise en As-if des principales tempêtes	68
3.3.4	Analyse des résultats de la modélisation stochastique au regard de l'historique	70
3.4	Prise en compte des risques climatiques et Cat-nat	80
3.4.1	Tarifcation des garanties couvrant les phénomènes naturels	81
3.4.2	Événement récurrent ou exceptionnel ?	83
4	Solvabilité 2 et appétence au risque catastrophe	87
4.1	Description générale de Solvabilité 2 et de l'ORSA	87
4.1.1	Solvabilité 2	87
4.1.2	ORSA	89
4.2	Mesures de risque	90
4.2.1	Value at Risk	90
4.2.2	Tail Value at Risk	91
4.2.3	Probabilité de ruine	91
4.2.4	Expected Policyholder Deficit	92
4.3	Gestion stratégique du risque catastrophe	92
4.3.1	Appétit pour le risque catastrophe	92
4.3.2	Évaluation de différentes stratégies de réassurance	96
4.3.3	Optimisation de la réassurance	102
	Conclusion	107
	Glossaire	109
	Table des figures	111
	Bibliographie	114
	A Provisions pour égalisation des risques (PER)	116

Liste des abréviations

- **AAAL** : Average Annual Loss
- **ACPR** : Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution
- **AEP** : Aggregate Exceedance Probability
- **AL** : Annual Loss
- **BP** : Business Plan
- **CCR** : Caisse Centrale de Réassurance
- **FFB** : Fédération Française du Bâtiment
- **FFSA** : Fédération Française des Sociétés d'Assurances
- **FP** : Fonds Propres
- **GEMA** : Groupement des Entreprises Mutuelles d'Assurance
- **IARD** : Incendie, Accidents et Risques Divers
- **MAIF** : Mutuelle d'Assurance des Instituteurs de France
- **MAIF PM** : MAIF Personnes Morales
- **MAIF PP** : MAIF Personnes Physiques
- **MCR** : Minimum Capital Requirement
- **ML** : Maximum Loss
- **MRH** : MultiRisques Habitation
- **OEP** : Occurrence Exceedance Probability
- **ORSA** : Own Risk and Solvency Assessment
- **PER** : Provisions pour Egalisation des risques
- **PML** : Probable Maximum Losses
- **ROE** : Return On Equity
- **SCR** : Solvency Capital Requirement
- **SRA** : Sécurité et Réparation Automobiles
- **TGN** : Tempêtes, Grêle, Neige
- **TVaR** : Tail Value at Risk
- **VaR** : Value at Risk

Introduction

Au cours de l'année 2013, la France métropolitaine a subi une succession d'événements météorologiques. La région du sud-ouest et notamment Lourdes ont connu de lourds dégâts matériels à la suite d'inondations en juin. Lors de la même période, plusieurs événements grêleux ont frappé de nombreuses régions françaises et dont le coût est estimé à 850 M d'euros selon la Fédération Française des Assurances [1] (cf. Bibliographie). De plus, deux tempêtes hivernales se sont abattues sur la région du nord-ouest de la France fin 2013. La première, Christian, a soufflé fin octobre alors que la seconde, Dirk, est survenue à Noël. Ces deux tempêtes ont généré de vents violents engendrant des dommages matériels considérables. De surcroît, Dirk a également provoqué des crues en Bretagne et Loire-Atlantique.

La fréquence importante d'événements climatiques en 2013 a une conséquence directe sur le résultat technique des assureurs. En effet, pendant que les épisodes grêleux augmentent principalement la sinistralité automobile, les tempêtes et inondations causent particulièrement des dommages en assurance habitation.

Alors que l'année 2013 a été marquée par une fréquence élevée d'événements météorologiques, d'autres exercices peuvent être touchés par un pic de coût comme ce fut notamment le cas en 1999. Lors de la fin d'année, Lothar et Martin, deux tempêtes d'une extrême intensité, sont venues balayer la France. Les indemnités versées à la suite des tempêtes de 1999 s'élevèrent à 6,9 milliards d'euros (en euro courant) [1].

Les catastrophes naturelles ("Cat-Nat") et les événements climatiques, que nous distinguerons dans ce mémoire, sont des phénomènes difficilement prévisibles. De plus, les dégâts causés par de tels événements peuvent se chiffrer en millions voire milliards d'euros. Afin de protéger leur résultat et leur solvabilité, les sociétés d'assurance non-vie doivent impérativement modéliser la sinistralité

catastrophe. Plusieurs décisions peuvent s'opérer à partir des résultats de cette modélisation :

- La tarification des garanties impactées par les catastrophes ;
- La prévision de la sinistralité catastrophe dans le cadre de la projection de l'évolution de l'entreprise (Business Plan) ;
- Le choix des programmes de réassurance ;
- La constitution et la consommation de la provision pour égalisation.

En outre, la maîtrise des événements climatiques et catastrophes naturelles est également intégrée dans *Solvabilité 2*. Les événements catastrophes sont concernés par l'ensemble des trois piliers de la réforme. En effet, dans le cadre des normes quantitatives, les assureurs doivent déterminer le SCR "Cat" à 99,5%. Dans le troisième pilier, les reportings informent notamment les autorités de contrôles sur les charges liées aux catastrophes naturelles. Enfin, par le biais de l'ORSA, les assureurs doivent évaluer leur appétence et maîtriser le risque catastrophe.

Pour une société comme la MAIF, la problématique du contrôle des sinistres catastrophes est principalement traitée par des études de courtiers en réassurance. L'un des objectifs de ce stage est de permettre à la mutuelle d'assurance d'avoir une meilleure connaissance de ses risques exceptionnels afin de pouvoir challenger les études réalisées par les courtiers.

Dans le cadre de la problématique de la maîtrise des sinistres catastrophes en assurance non-vie, nous allons dans un premier temps utiliser la modélisation de la sinistralité de différents périls (tempête, grêle, tremblement de terre et inondation) des portefeuilles automobile et habitation de la MAIF. En nous appuyant sur une liste de scénarios définie à partir d'un modèle probabiliste, nous allons réaliser des simulations afin de modéliser la distribution des charges brutes et nettes de réassurance liées aux phénomènes naturels. Cette modélisation nous permettra de constituer une base de travail sur laquelle nous nous appuyerons pour différentes études. D'une part, à partir de cette modélisation, nous déterminerons la prime pure pour la tarification des phénomènes naturels. Cette prime correspond à la charge moyenne annuelle des périls. D'autre part, pour la réalisation du business plan à un horizon de 5 ans, les phénomènes naturels doivent être appréhendés. Pour cela, toujours sur la base de la modélisation des périls, nous évaluerons la charge moyenne des événements qualifiés de *récurrents*

ainsi que la charge lissée pour ceux qualifiés d'*exceptionnels*. Enfin, dans le cadre de l'ORSA, nous étudierons l'appétence au risque catastrophe de la MAIF.

Chapitre 1

La sinistralité

1.1 Sinistralité en assurance non vie

La prévision de la sinistralité est un problème central en assurance non vie. Cette prévision est estimée à partir de deux éléments, à savoir la fréquence et la sévérité. Les modélisations effectuées doivent permettre d'une part d'évaluer le coût d'un contrat d'assurance, c'est-à-dire la prime pure, mais également de projeter la sinistralité dans le temps. Ce dernier point est notamment essentiel pour la tarification des contrats d'assurance.

La modélisation de la sinistralité, réalisée par branche, est effectuée séparément selon que les sinistres sont attritionnels (sinistralité courante) ou exceptionnels (sinistres au-dessus d'un seuil d'écrêtement). De plus, les assureurs prévoient également la simulation d'événements catastrophiques pouvant toucher plusieurs contrats simultanément.

1.1.1 Les sinistres attritionnels

Les sinistres attritionnels correspondent aux "petits sinistres" qui ne dépassent pas un seuil donné selon la branche. Ces sinistres ont généralement une fréquence de survenance élevée et un coût relativement faible. Dans le cadre de l'évaluation tarifaire, la modélisation de ces sinistres est effectuée par une méthodologie "fréquence-coût". Le montant des sinistres pour une année d'assurance n est évalué par la formule suivante :

$$Exposition_n \times Frequence_n \times Coutmoyen_n$$

L'exposition correspond au nombre d'années assurées. Si un contrat d'assurance n'a été souscrit que sur cinq mois de l'année, l'exposition est de 5/12. La fréquence et le coût de chaque sinistre sont quant à eux simulés par des lois de distributions spécifiques.

1.1.2 Les sinistres exceptionnels

Les sinistres exceptionnels correspondent aux sinistres ayant une charge importante et touchant une unique police d'assurance. Leur fréquence de survenance est plus faible que celle des sinistres attritionnels. Un seuil est déterminé par branche et l'ensemble des sinistres dont la charge est supérieure à ce seuil sont dits exceptionnels. Chaque année, le nombre de sinistres exceptionnels et le coût de chacun d'entre eux sont simulés selon des lois de distributions spécifiques.

1.1.3 Les sinistres catastrophes

Aux sinistres attritionnels et exceptionnels, modélisés par branche, s'ajoutent les sinistres catastrophes. Ces derniers sont susceptibles d'affecter plusieurs polices et branches simultanément. Parmi les sinistres catastrophes, nous retrouvons des événements climatiques, des catastrophes naturelles et des événements spécifiques (rupture de barrage, terrorisme, etc.).

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous intéresserons à la maîtrise des risques liés aux sinistres catastrophes, et plus particulièrement aux risques climatiques et catastrophes naturelles.

1.2 Sinistres climatiques et catastrophes naturelles

Chaque année, les catastrophes naturelles causent d'importantes pertes humaines ainsi que de considérables dégâts matériels dans le monde. D'après une étude du réassureur Munich Re [2], 880 événements naturels ont été enregistrés en 2013.

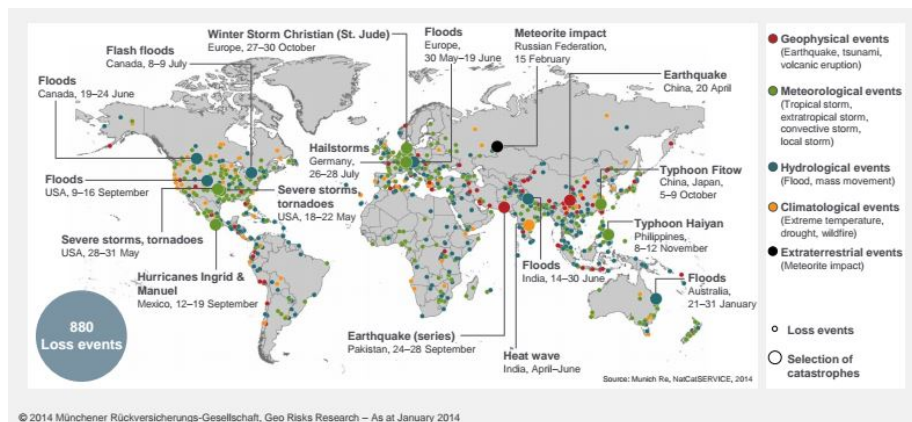


FIGURE 1.1 – Munich Re : Loss events worldwide 2013

L'Asie est le continent le plus exposé aux événements naturels avec notamment de nombreux séismes et de multiples tempêtes comme le typhoon Haiyan touchant les Philippines en novembre 2013. De plus, certaines régions d'Asie ont une faible pénétration de l'assurance liée au niveau de pauvreté du pays, c'est notamment le cas des Philippines. A l'inverse, les États-Unis connaissent une forte pénétration de l'assurance mais également d'importants événements climatiques à l'image de l'ouragan Sandy en octobre 2010 dont les dommages assurés s'élèvent à environ 35 milliards d'euros.

Dans une moindre mesure, le territoire français est lui aussi régulièrement touché par des événements naturels : les tempêtes Lothar et Martin en décembre 1999, la sécheresse de 2003, la tempête Klaus en 2009, ainsi que diverses régions inondées chaque année sont de récents exemples. Aux événements naturels, s'ajoutent également des catastrophes humaines comme l'usine AZF¹ en 2001.

Le code des assurances français encadre les événements catastrophiques. Ainsi, d'après l'article L. 125-1 alinéa 3 du code des assurances *sont considérés comme les effets des catastrophes naturelles, au sens du présent chapitre, les dommages matériels directs non assurables ayant eu pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel, lorsque les mesures habituelles à prendre pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises.*

1. Usine chimique de Toulouse détruite en septembre 2001 par l'explosion d'un stock de nitrate d'ammonium. Selon la Fédération Française des Sociétés d'Assurances (FFSA), AZF a provoqué 31 morts, 2500 blessés et 1,5 milliards d'euros de dégâts matériels.

Les dommages causés par les vents sont écartés du champ d'application du régime des catastrophes naturelles par la loi du 25 juin 1990. D'après l'article L122-7 du code des assurances, *Les contrats d'assurance garantissant les dommages d'incendie ou tous autres dommages à des biens situés en France, ainsi que les dommages aux corps de véhicules terrestres à moteur, ouvrent droit à la garantie de l'assuré contre les effets du vent dû aux tempêtes, ouragans et cyclones, sur les biens faisant l'objet de tels contrats, sauf en ce qui concerne les effets du vent dû à un événement cyclonique pour lequel les vents maximaux de surface enregistrés ou estimés sur la zone sinistrée ont atteint ou dépassé 145 km/h en moyenne sur dix minutes ou 215 km/h en rafales, qui relèvent des dispositions des articles L. 125-1 et suivants du présent code.* Ainsi, tout comme la neige et la grêle, les effets du vents (sauf événements cycloniques) ne sont pas considérés comme une catastrophe naturelle.

Par ailleurs, le code des assurances définit également la notion de catastrophe technologique par l'article L. 128-1 : *En cas de survenance d'un accident dans une installation relevant du titre Ier du livre V du code de l'environnement et endommageant un grand nombre de biens immobiliers, l'état de catastrophe technologique est constaté par une décision de l'autorité administrative qui précise les zones et la période de survenance des dommages auxquels sont applicables les dispositions du présent chapitre.* Ainsi, pour la prise en compte des indemnisations suite à un événement catastrophique, il est primordial de comprendre la différence entre les catastrophes naturelles (Cat-Nat), les événements climatiques et les catastrophes technologiques.

1.2.1 Les catastrophes naturelles

L'article L. 125-1 alinéa 1 du code des assurances définit les contrats d'assurance ouvrant le droit à la garantie contre les effets des catastrophes naturelles. *Les contrats d'assurance, souscrits par toute personne physique ou morale autre que l'Etat et garantissant les dommages d'incendie ou tous autres dommages à des biens situés en France, ainsi que les dommages aux corps de véhicules terrestres à moteur, ouvrent droit à la garantie de l'assuré contre les effets des catastrophes naturelles [...]* Ainsi, si l'assuré souscrit une garantie contre l'incendie, le vol, etc. il est automatiquement couvert contre les effets de catastrophes naturelles. Cependant, cette couverture intervient uniquement si l'état de Cat-Nat est constaté par un arrêté interministériel paru au journal officiel. L'arrêté doit déterminer les zones géographiques et les périodes où s'est située la catas-

trophe. D'après la loi du 25 juin 1990 prenant effet le 1^{er} août 1990, le régime des catastrophes naturelles est étendu aux DOM ² et aux collectivités de Mayotte et Saint-Pierre et Miquelon. De plus, l'article L122-7 du code des assurances nous informe que les effets du vent sont exclus du régime des catastrophes naturelles, sauf les événements cycloniques définis dans le même article. Ces événements concerne en pratique uniquement l'Outre-mer. En France, les catastrophes naturelles les plus souvent constatées sont les inondations et les sécheresses. Dans une moindre mesure, des arrêtés interministériels pour des tremblements de terre peuvent être déclarés.

Inondation

Les inondations sont très courantes en France et causes d'importants dégâts matériels. Selon une étude de la FFSA ³ et du GEMA ⁴ [3], le département du Gard a connu des inondations en septembre 2002 dont le coût est estimé à un peu plus d'1 milliard d'euros. Chaque année, des arrêtés interministériels pour des périls inondations paraissent au journal officiel. Ces arrêtés sont souvent la conséquence de tempêtes. D'après la répartition géographique des inondations extraite de l'étude de la FFSA et du GEMA [3], le centre de la France est la région la moins concernée par les inondations.

2. Départements d'Outre-Mer

3. Fédération Française des Sociétés d'Assurances

4. Groupement des Entreprises Mutuelles d'Assurance

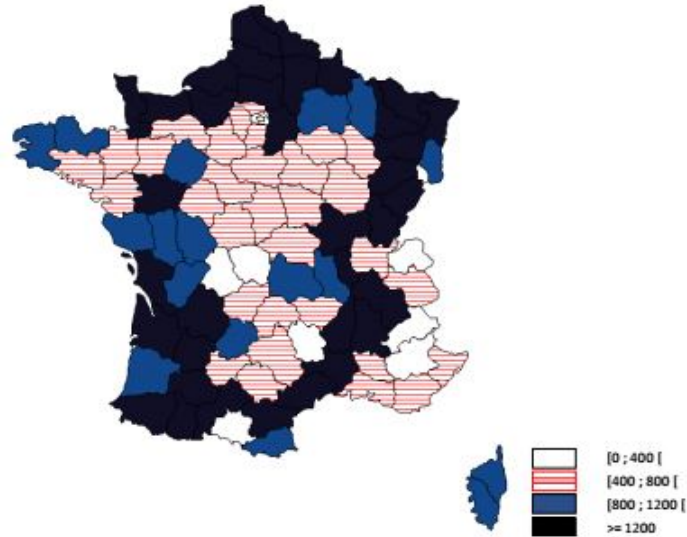


FIGURE 1.2 – Association française des assurances : Répartition géographique du nombre de communes sinistrées par une inondation de 1982 à 2012

Sécheresse

Tout comme les inondations, les sécheresses sont des risques majeurs pour les assureurs. Une sécheresse provoque un affaissement lent de la lithosphère, appelé subsidence. Les dégâts matériels surviennent ensuite lors de la réhydratation du sol par des pluies importantes. Ainsi, le coût des sinistres lié aux sécheresses est connu plusieurs mois voire plusieurs années après la survenance de l'événement. L'estimation des provisions est alors complexe. D'après l'étude de la FFSA et du GEMA [3], la sécheresse de 2003 est la catastrophe naturelle la plus coûteuse enregistrée pour la France avec un coût estimé proche de 2 milliards d'euros. Le phénomène de subsidence est particulièrement marqué dans des zones d'argiles gonflantes qui sont très nombreuses en France. D'après la répartition géographique des sécheresses extraite de l'étude de la FFSA et du GEMA [3], la moitié ouest de la France, à l'exception de la Bretagne, a été la plus exposée aux subsidences.

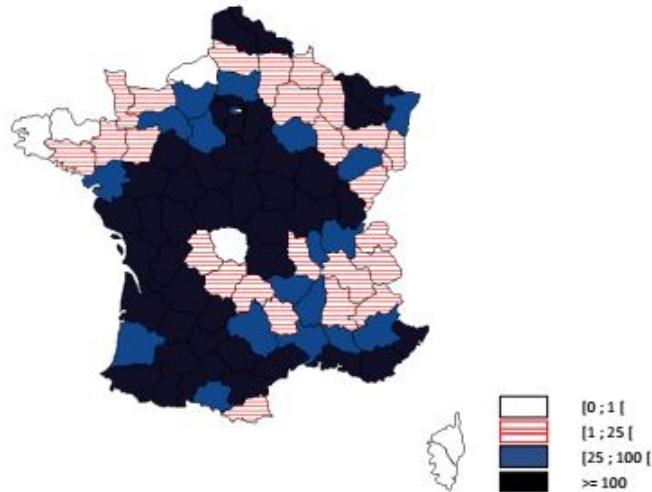


FIGURE 1.3 – Association française des assurances : Répartition géographique du nombre de communes sinistrées par une sécheresse de 1988 à 2012

Tremblement de terre

Le péril tremblement de terre est une catastrophe naturelle dont la fréquence de survenance en France métropolitaine est très faible. Par ailleurs, les principaux événements survenus dans le passé avaient une intensité provoquant peu de dégâts. En revanche, les tremblements de terre sont plus importants dans les régions d’Outre-mer. La Martinique et la Guadeloupe connaissent régulièrement des séismes avec la subduction⁵ de la plaque sud-américaine sous la plaque caraïbe. Avec son activité volcanique, l’île de la Réunion est également une zone sismique. Les territoires d’Outre-mer étant exclus du régime légal des catastrophes naturelles, les séismes intervenant dans ces régions ne sont pas déclarés comme Cat-Nat. Une des conséquences d’un tremblement de terre peut être la survenance d’un tsunami.

Tsunami

Encore plus rare que le tremblement de terre, le tsunami à une probabilité de survenance extrêmement faible en France métropolitaine. Cependant, avec l’océan Atlantique et la mer Méditerranée, la probabilité de voir un tsunami en

5. Définition Larousse : Enfoncement d’une plaque lithosphérique de nature océanique sous une plaque adjacente, de nature continentale le plus souvent.

France n'est pas nulle. Ce dernier provoquerait un nombre important de pertes humaines ainsi que de lourds dégâts matériels.

1.2.2 Les événements climatiques

Un événement climatique est un événement tel qu'une tempête, la grêle ou la neige, qui ne soit pas déclaré comme catastrophes naturelles. De ce fait, ne rentrant pas dans le cadre des Cat-Nat, les assureurs proposent une garantie TGN⁶ dans leurs contrats habitation. D'après une étude de la FFSA et du GEMA [1], les cotisations pour la garantie TGN représentaient en 2012 environ 9% des cotisations des assurances aux biens.

Lors de l'exercice 2013, le résultat technique des assureurs français lié aux événements climatiques fut sombre avec la survenance de plusieurs événements. En effet, une grande partie du territoire français a été frappée par des grêles au mois de juin auxquelles se sont ajoutées deux tempêtes survenues en fin d'année :

- Christian : frappant le nord de la France en octobre ;
- Dirk : s'abattant sur la Bretagne fin décembre.

En France, la tempête est l'événement climatique le plus destructeur. Le montant de ses indemnisations est bien plus important que le coût des événements grêle ou neige.

Tempête

La tempête est un phénomène météorologique caractérisé par des vents violents accompagnés d'intenses précipitations. En Europe, les tempêtes sont généralement hivernales puisqu'elles surviennent principalement au cours du premier et dernier trimestre de l'année. Au terme du siècle dernier, l'Europe de l'Ouest a été affectée par deux tempêtes successives : Lothar et Martin. L'intensité de ces événements a surpris la France entière et les dommages assurés s'élevèrent à 6,9 milliards d'euros [1].

6. Tempêtes, Grêle, Neige

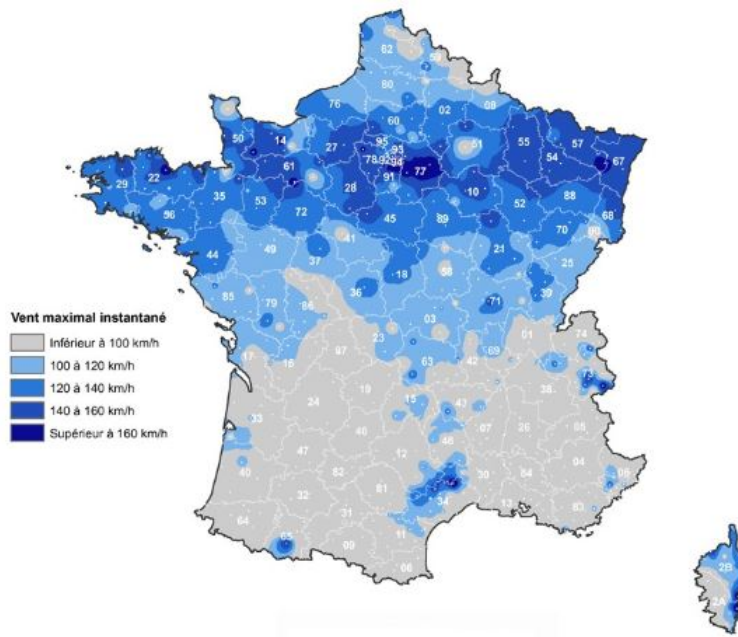


FIGURE 1.4 – Météo France : Tempête Lothar, valeurs maximales des vents instantanés observés les 25 et 26 décembre 1999

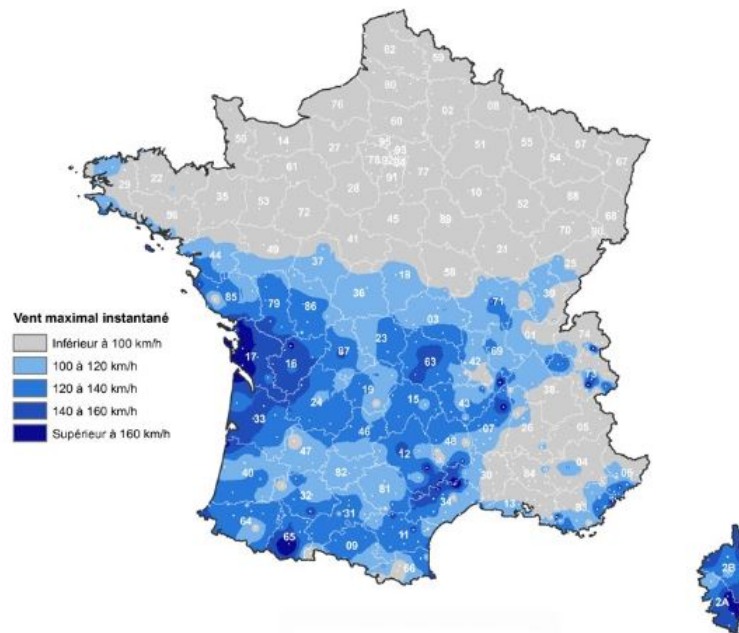


FIGURE 1.5 – Météo France : Tempête Martin, valeurs maximales des vents instantanés observés les 27 et 28 décembre 1999

Les dégâts matériels causés par Lothar ont été plus importants que ceux provoqués par Martin. Ceci s’explique par deux principaux facteurs :

- L’intensité des vents ;
- La trajectoire de la tempête.

En effet, d’après les cartes des vents de Lothar et Martin, la première avait une plus forte intensité. De plus, contrairement à sa tempête jumelle, Lothar a frappé la ville de Paris où les dommages assurés sont importants. Bien que la période de retour d’une tempête au moins similaire à Lothar ou Martin est estimée à plusieurs décennies, il est néanmoins essentiel pour les assureurs d’évaluer les impacts économiques.

Neige

La garantie TGN couvre également l’événement neige. Cette garantie intervient suite aux dégâts causés par le poids de la neige sur les toits. La France est rarement confrontée à d’importants phénomènes neigeux provoquant de nombreux dégâts de toiture. Ainsi l’événement neige a très peu d’enjeux pour les assureurs.

Grêle

Le dernier événement climatique est la grêle. La grêle est une précipitation prenant la forme de billes de glace se produisant le plus souvent durant le printemps et l'été. Cet événement provoque des dommages matériels sur les contrats MRH⁷ mais aussi sur les contrats automobiles avec l'endommagement de carrosserie. Lors du week-end de la Pentecôte 2014, de violents orages de grêle sont venus frapper la France. La FFSA estime que ces derniers coûteront entre 800M et 900M d'euros sur le marché français.

1.2.3 Les catastrophes technologiques

Les catastrophes naturelles et climatiques ne sont pas les seuls événements dont les dommages causés sont importants. En effet, il existe aussi des catastrophes technologiques comme l'explosion d'une centrale nucléaire ou la rupture d'un barrage. L'exemple le plus récent en France d'une catastrophe technologique est l'explosion de l'usine AZF à Toulouse en septembre 2001. Bien que les catastrophes technologiques sont difficilement prévisibles, leurs conséquences n'en sont pas moins importantes pour les assureurs.

Notons qu'aux catastrophes naturelles, climatiques et technologiques, s'ajoutent également les actes de terrorisme.

Dans le cadre de ce mémoire, le périmètre des sinistres catastrophes étudiés sont les phénomènes naturels, à savoir les catastrophes naturels et les événements climatiques. Les enjeux économiques de ces événements peuvent impacter le résultat voire la solvabilité des assureurs. Ainsi, ces derniers doivent appréhender leurs risques. À cet effet, nous étudions notamment la fréquence de survenance et le montant des dommages lié à des phénomènes naturels. Les catastrophes technologiques et le terrorisme ne rentre pas dans le périmètre d'étude du présent mémoire. Cependant les compagnies d'assurance doivent mesurer les impacts de ces événements.

Afin de protéger leur résultat suite à des sinistres catastrophes, les assureurs font notamment appel à la réassurance.

7. MultiRisques Habitation

1.3 Traitement en réassurance des phénomènes naturels

Parfois appelée "l'assureur des assureurs", la réassurance est un acteur majeur dans le monde de l'assurance. En effet, les assureurs sont exposés à de nombreux risques importants dont la fréquence de survenance est faible mais l'intensité peut être extrêmement forte. Ainsi, par contrainte de marge de solvabilité ou par volonté de protection du résultat, les sociétés d'assurances transfèrent des grands risques individuels (sinistre "Responsabilité Civile") ou des risques catastrophiques (événement climatique) aux réassureurs. Ces derniers, présents à l'échelle mondiale, diversifient les risques extrêmes. Dans cette section, nous présenterons dans un premier temps les différentes formes de protection de réassurance, avant de nous intéresser à la couverture des catastrophes naturelles et des événements climatiques.

1.3.1 Protection de réassurance

On distingue deux grands modes de réassurance, l'obligatoire et la facultative. Alors que la réassurance obligatoire couvre tout le portefeuille d'une cédante dans une branche donnée, la réassurance facultative couvre un ou plusieurs risques explicitement spécifiés et décrits par la cédante. La réassurance obligatoire est la plus utilisée sur le marché et se décompose en deux principales formes :

- **La réassurance proportionnelle** où l'assureur cède une part de son portefeuille.
- **La réassurance non proportionnelle** où l'assureur paie une protection prédéfinie contre les pertes qui pourraient affecter son portefeuille.

Réassurance proportionnelle

Dans la réassurance proportionnelle, il existe deux types de traités permettant à l'assureur de céder un pourcentage de son portefeuille :

- Le quote-part ;
- L'excédent de plein.

Le quote-part Dans un traité en quote-part, l'assureur cède un pourcentage de ses primes. En contrepartie, le réassureur s'engage à lui rembourser le même pourcentage des sinistres.

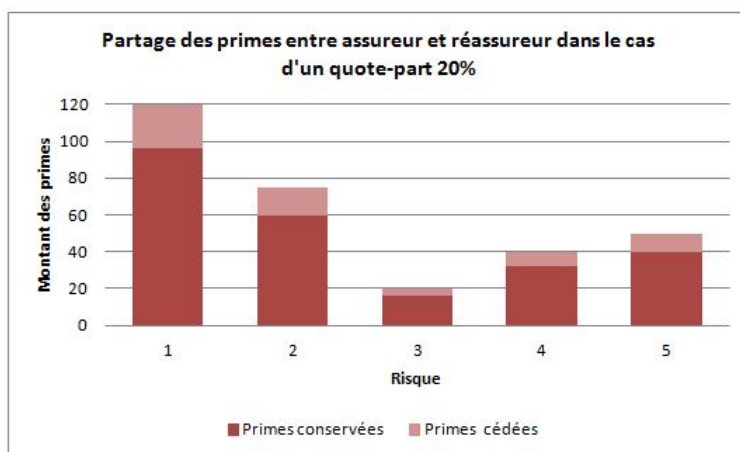


FIGURE 1.6 – Représentation d'un traité quote-part 20%. Partage des primes

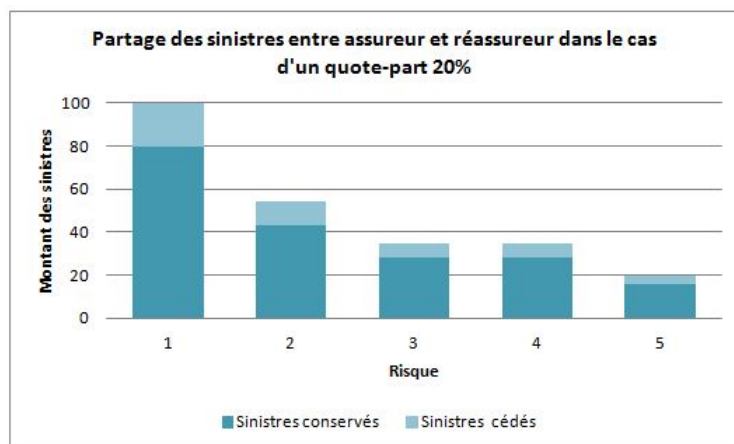


FIGURE 1.7 – Représentation d'un traité quote-part 20%. Partage des sinistres

Le traité en quote-part a l'avantage de partager la sinistralité entre la cédante et le réassureur, mais également de ne pas avoir de limite de couverture. En revanche, ce type de traité ne permet pas de se couvrir contre les grands sinistres. En effet, en cas de survenance d'importants événements climatiques par exemple, le résultat comptable de la société d'assurance n'est pas protégé.

L'excédent de plein Tout comme le quote-part, l'excédent de plein est également un traité de réassurance proportionnelle. Alors que pour le quote-part la cession

est déterminée par un pourcentage fixe, pour l'excédent de plein le pourcentage est variable selon le type de risque. Dans ce cas, l'assureur peut conserver les "petits risques" en fixant une rétention minimale. Le traité définit également une capacité totale en nombre de pleins (avec 1 plein correspondant au risque conservé par l'assureur). Lorsque le pourcentage de cession par risque est déterminé, le traité fonctionne comme le quote-part. Le tableau ci-dessous illustre la détermination du pourcentage de cession pour trois types de risques différents.

	Risque 1	Risque 2	Risque 3
Montant assuré A	20	100	500
Rétention minimale R	20	20	20
Montant conservé (1 plein) P	20	20	50
Montant cédé C	0	80	250
Nombre de pleins cédés C/P	0	4	5
Pourcentage cédé C/A	0%	80%	50%
Pourcentage conservé 1-C/A	100%	20%	50%

FIGURE 1.8 – Représentation d'un traité excédent de plein avec une rétention de 20 (capacité totale=5 pleins)

L'assureur conserve la totalité du premier risque, 20% du risque 2 et 50% du troisième risque. L'excédent de plein permet à la cédante de ne pas se réassurer sur les petits risques et donc d'optimiser la rétention. En revanche sa gestion est lourde et complexe.

Réassurance non proportionnelle

En parallèle des programmes proportionnels, les sociétés de réassurance proposent également des traités non proportionnels. Il en existe deux principaux types :

- L'excédent de sinistre par risque ou par événement ;
- Le stop-loss.

L'excédent de sinistre Le programme d'excédent de sinistre permet à la cédante de conserver la part de chaque sinistre ou de chaque événement inférieure à une franchise, appelée la priorité. Dans ce type de traité, la notion de couverture "par risque" ou "par événement" est importante. Dans le premier cas la couverture intervient au-delà d'une priorité lorsqu'un risque est sinistré (ex : un accident corporel). Pour un traité d'excédent de sinistre par événement, la

couverture intervient au-delà d'une priorité pour tous les risques sinistrés du fait d'une même cause (ex : une tempête endommageant plusieurs maisons). Notons que pour la plupart des traités en excédent de sinistre, la garantie accordée par le réassureur est plafonnée. Le montant à la charge de ce dernier est appelé la portée. L'écriture de ce type de traité est simplifiée par "garantie XS priorité".

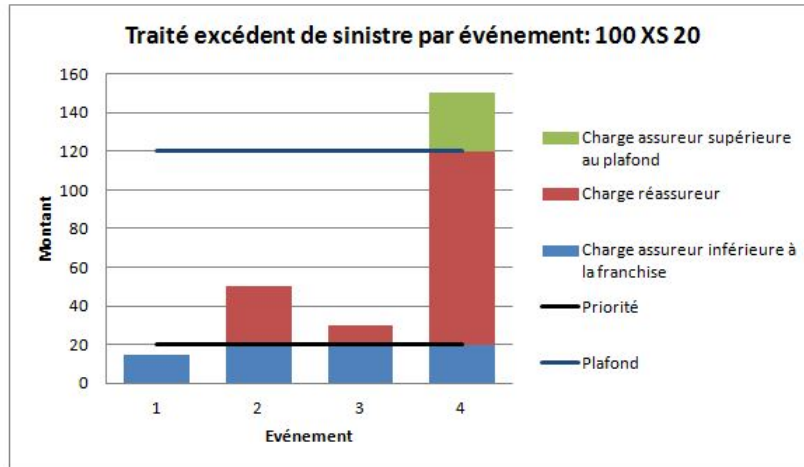


FIGURE 1.9 – Représentation d'un traité excédent de sinistre 100 XS 20

Ce type de traité est très utilisé pour les événements catastrophiques. Il a l'avantage de permettre à la cédante d'être couverte au-delà de la franchise.

Notons que le traité "Aggregate sur rétention" est une variante de l'excédent de sinistre. Ce programme de réassurance permet à la cédante d'alimenter un montant total annuel à partir d'une part de la priorité de plusieurs types de risques. S'applique ensuite un traité d'excédent de sinistre "garantie XS priorité" sur ce montant total annuel.

Le stop-loss Un programme de stop-loss est désigné par : "L Stop Loss R" avec R correspondant à la rétention et L la limite. Bien qu'étant généralement exprimés en pourcentage des primes, R et L peuvent également être exprimés en quantité ou en pourcentage du total des sommes assurées. Prenons l'exemple d'un traité 50% SL 110% avec un niveau de prime est de 10000000. À la fin de l'année le montant total des sinistres est de 12500000. Le ratio $\frac{\text{sinistres}}{\text{primes}} = 125\%$. Ainsi, de part le traité en stop loss, la réassurance intervient en remboursant

125% – 110% = 15% des primes soit 1500000. Le stop-loss a l'avantage d'offrir une protection du résultat global dans la limite de la couverture. En revanche son coût est très élevé.

Après avoir exposé le principaux programmes de réassurance, nous allons à présent aborder la réassurances des catastrophes naturelles et des événements climatiques.

1.3.2 Phénomènes naturels : couvertures de réassurance

Les enjeux économiques des sinistres catastrophes sont tellement importants qu'une couverture en réassurance est une nécessité pour les sociétés d'assurance. Cette couverture permet ainsi de garantir une indemnisation en cas de sinistre provoqué par un phénomène naturel. Dans ce cadre, nous allons nous intéresser à deux dispositifs de couvertures. Le premier concernera le cas de dommages causés par des risques naturels couverts dans le cadre du régime d'indemnisation des Cat-Nat institué par le code des assurances. Le second dispositif touchera le traitement de la sinistralité pour des dommages résultants des événements climatiques exposés précédemment.

Catastrophes naturelles

L'article L. 125-1 du code des assurances ne dresse aucune liste exhaustive des périls pris en compte par le régime des catastrophes naturelles. Ainsi, sont définies comme Cat-Nat les événements d'*intensité anormale d'un agent naturel*. Les biens couverts par le régime sont les immeubles et meubles assurés contre les dommages d'incendies ou tout autre type de dommage. Ainsi, parmi les biens garantis, on retrouve notamment les habitations, les bâtiments agricoles et les véhicules. En France, les dommages causés dans le cadre du régime "Cat-Nat" sont couverts en réassurance par la CCR⁸. Cette couverture est réalisée par branche, ainsi en assurance non-vie on distingue les branches "automobile" et "non automobile"

Le régime des catastrophes naturelles est souvent discuté au cours des dernières années. Aujourd'hui, quels que soient la zone géographique du lieu de risque et le type de bien concerné (particulier ou professionnel), la prime pour les risques Cat-Nat est fixée à 12% des cotisations dommages pour les contrats MRH. Au

8. Caisse Centrale de Réassurance. La CCR, créée en 1946, est détenue à 100% par l'État français

coeur des discussions, une évolution de la tarification des risques catastrophes naturelles pourrait voir le jour avec l'instauration d'un pourcentage variable de l'assiette des cotisations selon le lieu du risque. L'intervention de la CCR s'articule autour de deux types de traités :

- Quote-part ;
- Stop-loss.

Les traités Quote-part La CCR impose un taux de cession identique pour l'ensemble des cédantes du marché français. Depuis le 1^{er} janvier 2000, ce taux est de 50% pour les risques "automobiles" et "non-automobiles". Ainsi, au titre des traités quote-part, les assureurs cèdent à la CCR la moitié de leur cotisation "Catastrophes Naturelles" automobiles et habitations. En contrepartie, la CCR prend en charge la moitié du coût de chacun des événements.

Les traités Stop-loss Les traités Stop-loss couvrent la partie non cédée en Quote-part. La CCR intervient lorsque la sinistralité totale annuelle dépasse une franchise correspondant à 200% des primes conservées. Les dommages dépassant cette franchise sont pris en charge de façon illimitée par le réassureur. Seul le niveau des franchises des traités Stop-loss peut, dans une certaine mesure, faire l'objet de négociations. Les tarifications sont individualisées pour tenir compte de la sinistralité enregistrée par les cédantes et de leur exposition aux risques.

Événements climatiques

Les événements climatiques qui ne sont pas reconnus comme catastrophes naturelles, à savoir la tempête, la neige et la grêle, impactent les branches "automobile" et "habitation" en assurance non-vie. Les dommages résultant de ces phénomènes relèvent de garanties contractuelles facultatives ou obligatoires. Ainsi, d'après l'article L. 122-7 du code des assurances, tous contrats dommages d'incendie à des biens ainsi que les véhicules terrestres à moteur ouvrent le droit d'être indemnisés contre les effets des vents. Par ailleurs, afin d'être couvert contre l'impact des grêles sur son véhicule, l'assuré doit souscrire un contrat auto tous risques. En MRH, une garantie TGN est également proposée afin de se couvrir contre les dommages provoqués par la tempête, le poids de la neige sur la toiture et la grêle.

À l'image de l'ensemble des sociétés d'assurance, la MAIF transfère une partie de ses risques climatiques autres que catastrophes naturelles auprès des

réassureurs. Le traité actuellement en place est un excédent de sinistre par événement : "Garantie XS Priorité". Ainsi, pour tous événements climatiques dont la charge totale est supérieure à la priorité, la réassurance intervient dans la limite du seuil de garantie prédéfini. Par ailleurs, l'ensemble du programme bénéficie de N reconstitutions de garantie, permettant ainsi de faire face à $N + 1$ événements consommant entièrement la capacité.

Exemple de reconstitution : 5 XS 2 avec deux reconstitutions. Dès lors qu'un événement dépasse 5, une reconstitution est réalisée. Ainsi dans l'exemple, la charge de sinistre maximale que le réassureur peut supporter est de $5 + 5 + 5 = 15$.

Notons que les catastrophes naturelles et les événements climatiques alimentent également une couverture "Aggregate sur rétention".

Le choix des programmes de réassurance et la détermination des seuils de rétention sont des éléments importants pour une compagnie d'assurance. En effet, le coût de la réassurance est non négligeable. C'est pourquoi, les cédantes cherchent à optimiser leur couverture. Dans ce cadre, elles doivent dans un premier temps estimer le montant des phénomènes naturels à travers une modélisation des sinistres catastrophes.

Chapitre 2

Modélisation de la sinistralité catastrophique

Un phénomène naturel comme un séisme, une tempête ou encore une inondation est très difficile à prévoir. En effet, l'alerte pour un événement climatique est donnée au mieux quelques jours avant la survenance de ce dernier. Pour d'autres périls comme le séisme ou le tsunami, il est impossible d'anticiper à l'avance l'événement. Le 11 mars 2011, le Japon a connu un séisme d'une très forte intensité provoquant un tsunami dont les conséquences de ce dernier ont été importantes. Les vagues ont ravagé plusieurs villes cotières provoquant plus de 18 000 morts et disparus, de lourdes destructions ainsi que l'accident nucléaire de Fukushima. Alors que personne ne prévoyait un tel événement au matin du 11 mars 2011, la catastrophe naturelle est devenue la deuxième plus coûteuse depuis 1970 avec des dommages assurés s'élevant à 35,7 milliards de dollars selon la FFSA et le GEMA [3].

Ces événements n'étant pas prévisibles, les assureurs et réassureurs peuvent néanmoins évaluer en moyenne la fréquence et la sévérité des sinistres catastrophes futurs sur une longue période. Ainsi, dans ce chapitre nous allons dans un premier temps présenter les deux modèles permettant l'évaluation de la sinistralité des phénomènes naturels avant d'approfondir l'étude de l'un d'entre eux.

2.1 Deux approches de la modélisation des phénomènes naturels

Peter ZIMMERLI [4] présente en 2003 la modélisation des périls naturels par deux approches :

- Modélisation déterministe ;
- Modélisation probabiliste.

Lors d'une conférence organisée par l'Institut des Actuaires français en mars 2014, Thierry COHIGNAC et Geoffrey ECOTO [5] reviennent sur les principes généraux de ces deux modélisations.

En nous appuyant sur ces références bibliographiques, nous exposerons dans cette section le principe de chacun des deux modèles ainsi que leurs avantages et inconvénients.

2.1.1 Modèle déterministe

Le modèle déterministe est la solution la plus simple pour simuler les sinistres provoqués par des catastrophes naturelles. Cette méthode repose sur l'analyse de l'historique des phénomènes naturels afin d'évaluer la fréquence et la sévérité de chaque péril. Des lois de distributions spécifiques sont appliquées, comme une loi de comptage de type Poisson ou Binomiale Négative pour la fréquence et une loi de type Log-Normal, Weibull ou Pareto pour la sévérité. L'analyse de l'historique permet d'estimer les paramètres des lois.

Ce type de modélisation recourt à des événements majeurs présents dans l'historique que l'on rapporte aux valeurs assurées d'aujourd'hui par une mise en "As-If". L'une des principales difficultés de l'analyse en As-If des périls naturels est le suivi de l'exposition des biens assurés. En effet, l'exposition géographique des biens assurés est un facteur clé dans la modélisation de la sinistralité. Par exemple, un bien situé à proximité de la Seine sera plus sensible aux inondations qu'un bien plus en retrait. Le portefeuille des assureurs évolue au cours du temps. Ainsi, une inondation présente dans l'historique peut provoquer des dégâts plus importants si elle se reproduisait aujourd'hui.

Le manque de données historiques est un autre inconvénient majeur de cette méthode. En effet, les assureurs et réassureurs se sont constitués un historique

d'une trentaine voire d'une quarantaine d'années. Or, cette période ne semble pas assez longue pour avoir un historique suffisamment exhaustif. Il se peut par exemple qu'aucun événement extrême ne se soit produit dans le passé.

2.1.2 Modèle probabiliste

Alors que le modèle déterministe repose sur un historique de moins d'un demi siècle, le modèle probabiliste consiste à simuler l'ensemble des événements possibles sur une période de plusieurs milliers d'années. La modélisation permet de définir une liste de sinistres catastrophes avec la probabilité de survenance et la charge moyenne de chacun de ces événements. Les modèles probabilistes ont été développés par des sociétés spécialistes du climat dont les plus connues sur le marché de l'assurance sont :

- Applied Insurance Research (AIR) ;
- Risk Management Solutions (RMS) ;
- EQECAT.

Chacun de ces modèles s'appuie sur trois modules que nous présenterons dans la section 2.2 :

- L'aléa ;
- La vulnérabilité ;
- Les dommages.

Les deux modèles présentent des avantages et des inconvénients que nous allons exposer.

2.1.3 Comparaison des deux modèles

	Avantages	Inconvénients
Modèle déterministe	<ul style="list-style-type: none">- Délai réduit d'obtention du modèle- Sinistralité historique	<ul style="list-style-type: none">- Manque de données historiques- Le passé n'est pas forcément représentatif du futur
Modèle probabiliste	<ul style="list-style-type: none">- Événements absents de l'historique- Prise en compte de la vulnérabilité- Prise en compte de l'évolution de l'exposition	<ul style="list-style-type: none">- Complexité du modèle- Nécessite beaucoup de données précises

FIGURE 2.1 – Avantages et inconvénients des deux approches de la modélisation des phénomènes naturels

Dans le cadre de la maîtrise des phénomènes naturels étudiés dans ce mémoire, la modélisation probabiliste est celle retenue. Cependant, afin de vérifier la cohérence des résultats, nous ferons un parallèle avec le modèle déterministe.

Nous allons à présent nous attacher à étudier les différents modules du modèle probabiliste. L'articulation de ces trois modules (aléa, vulnérabilité et dommages) permet la constitution des jeux d'événements des sinistres catastrophes.

2.2 Modélisation stochastique de la sinistralité

L'objectif de la modélisation probabiliste est de constituer un jeu d'événements où les périls ne sont jamais survenus, mais la probabilité de survenance n'est pour autant pas nulle. Ce modèle repose sur trois modules, qui sont la pierre angulaire de la modélisation des sinistres. Le schéma ci-dessous illustre l'articulation des trois modules.

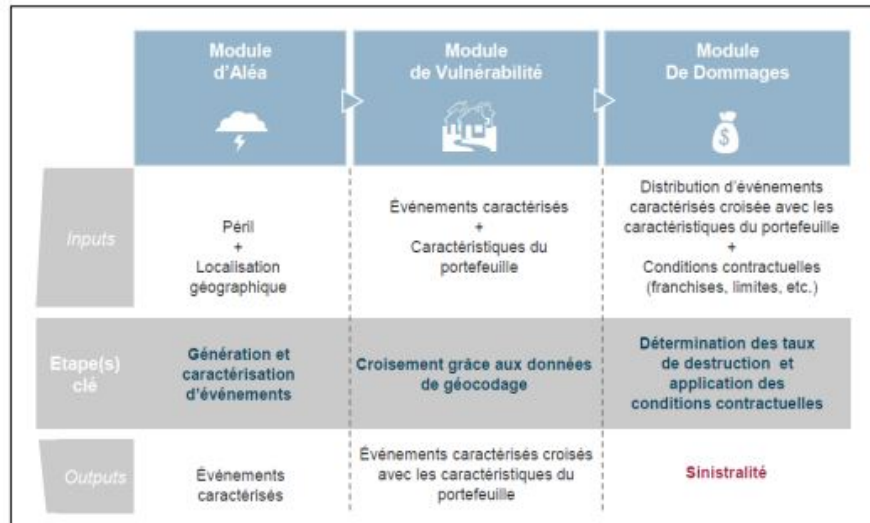


FIGURE 2.2 – CCR : Les trois modules d'un modèle CAT

2.2.1 L'aléa

Le 15 février 2013, Tcheliabinsk, ville de Russie située près de la frontière du Kazakhstan, a été frappé par une météorite. Les principaux dégâts provoqués par cet événement ont été des éclats de verre et l'endommagement du toit d'une usine. Cependant, un même événement situé sur une zone géographique urbaine et avec une intensité plus forte aurait certainement eu des conséquences plus lourdes.

Dans ce cadre, le module aléa a pour objectif de construire un jeu d'événements représentatifs de l'ensemble des périls pouvant se réaliser. Ainsi, le module se base dans un premier temps sur l'historique des sinistres antérieurs avant de faire varier certains paramètres comme la localisation géographique et l'intensité. La variation de la localisation géographique pour les tempêtes se fait par une modification pseudo-aléatoire de la trajectoire des tempêtes déjà survenues. L'intensité de l'événement est quant à elle variée selon les études de spécialistes du climat. Notons que la mesure de l'intensité dépend du péril étudié. Pour les tempêtes par exemple, l'intensité est mesurée par la vitesse des rafales de vents. En règle général, l'intensité diminue à mesure qu'on s'éloigne du centre de l'événement. L'étude de l'intensité suivant la zone géographique est importante pour les assureurs car elle est étroitement liée aux dommages constatés.

Le module aléa doit être alimenté par des données sur les périls antérieurs ainsi que sur la localisation géographique. Après traitement du modèle, le module aléa constitue un jeu d'événements par périls étudiés. L'ensemble de ces événements sont ainsi susceptibles de se réaliser sur une période de plusieurs milliers d'années. Intervient ensuite le module vulnérabilité, consistant à déterminer le coût.

2.2.2 La vulnérabilité

L'intensité et la localisation géographique d'un péril naturel ne sont pas les seuls paramètres permettant de mesurer l'ampleur des dégâts. En effet, suivant le type de construction des bâtiments, leur ancienneté, leur hauteur ainsi que leur contenu, la charge totale peut varier entre deux événements de même intensité. La vulnérabilité s'appuie sur l'estimation des valeurs assurées déterminées par des données clients et des sources nationales comme l'INSEE¹ ou CALLON². L'estimation repose sur deux grandeurs :

- Les valeurs assurées liées au bâtiment. La méthode utilisée pour l'estimation consiste à multiplier un prix de reconstruction, issu du Callon à l'échelle départementale, avec la surface réelle ou estimée m^2 .
- La notion de "contenu". Cette notion est déterminée soit par une estimation des biens, soit par une valeur forfaitaire définie à l'échelle nationale.

Dans ce cadre, le module vulnérabilité a pour objectif de déterminer le taux moyen de sinistralité en fonction de l'intensité du péril. Peter Zimmerli [4] définit le taux moyen de sinistralité comme le *montant total du sinistre par rapport à la valeur totale de tous les objets d'assurance (donc y compris ceux qui n'ont subi aucun dommage) dans la zone considérée*.

Ce module permet de tracer une courbe de vulnérabilité pour chaque catégorie de risque (commerces, maisons individuelles, industries, etc.). Ces courbes expriment le rapport entre l'intensité et le taux moyen de sinistralité. Suivant les différentes catégories de risque étudiées, le modèle prend également en compte les fluctuations de la vulnérabilité liées par exemple à la qualité des matériaux de construction. Ainsi, la charge totale d'un événement sera une variable aléatoire.

Le module vulnérabilité doit être alimenté par des informations détaillées sur les biens du portefeuille assuré. L'articulation entre les modules aléa et

1. Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

2. Côte annuelle des valeurs vénales immobilières et foncières

vulnérabilité permet de déterminer le montant brut moyen pour chaque événement.

2.2.3 Les dommages

La modélisation des périls naturels doit permettre aux assureurs d'évaluer le montant des pertes futures. Ainsi, les conditions d'assurances comme par exemple les garanties prises en charge et le niveau de franchise sont des éléments à prendre en compte. A cette fin, l'objectif de ce troisième module est de calculer, à partir du montant brut d'un sinistre, la charge nette pour l'assureur.

Après traitement des trois modules sur le portefeuille d'une société, le modèle fournit une liste d'événements pouvant se réaliser. Dans la section suivante, nous reviendrons sur cette liste à disposition des assureurs.

2.3 Jeux d'événements

Pour la modélisation de la sinistralité catastrophique, les assureurs utilisent l'approche probabiliste. Ce modèle, créé par des sociétés spécialistes du climat, constitue un jeu d'événements par péril susceptible d'impacter le portefeuille d'une compagnie d'assurance. Dans cette section, nous vous exposerons tout d'abord l'extrait d'un jeu d'événements avant d'expliquer les principales variables.

2.3.1 Extrait d'un jeu d'événements

CURR	EVENTID	PERSPVALUE	STDDEVI	STDDVEC	EXPVALUE	RATE
EUR	2 903 566	170 931 234	1 081 817	41 208 031	71 730 695 361	1,188E-05
EUR	2 909 874	1 664 098	61 019	1 161 369	43 066 458 183	0,000939836
EUR	2 912 624	52 115 155	577 371	16 410 228	56 689 062 889	1,17806E-05
EUR	2 916 956	11 924	2 452	18 307	2 815 653 217	0,000177509

FIGURE 2.3 – Exemple d'un extrait de set d'événements

Les variables du jeu d'événements constitué par le modèle probabiliste sont :

- **EVENTID** : le numéro d'identification d'un événement ;
- **PERSPVALUE** : le coût moyen d'un événement ;
- **STDDEVI** : l'écart-type indépendant ³ ;

3. Abus de langage car correspond plutôt à une contribution à l'écart-type. Cf équation (2.1).

- **STDDVEC** : l'écart-type corrélé⁴ ;
- **EXPVALUE** : l'exposition de l'événement en valeurs assurées ;
- **RATE** : la probabilité de survenance d'un événement.

Pour mieux comprendre la détermination de ces variables, nous allons à présent vous les exposer.

2.3.2 Explication des variables

Afin d'expliquer certaines variables du jeu d'événements, considérons un portefeuille dont les risques touchent deux localisations notées E_1 et E_2 . Le coût moyen d'un événement $PERSPV\text{VALUE}$ est la somme des coûts moyens des deux localisations :

$$PERSV\text{VALUE} = PERSPV\text{VALUE}_{E_1} + PERSPV\text{VALUE}_{E_2}$$

De la même façon, l'exposition d'un événement $EXPV\text{VALUE}$ est la somme des expositions des deux localisations :

$$EXPV\text{VALUE} = EXPV\text{VALUE}_{E_1} + EXPV\text{VALUE}_{E_2}$$

En revanche, pour l'incertitude d'un événement, il y a deux cas extrêmes qui se présentent à nous :

- **Corrélation totale entre les localisations** : coefficient de corrélation valant 1 ($\rho = 1$) ;
- **Indépendance entre les localisations** : coefficient de corrélation valant 0 ($\rho = 0$).

Notons :

- X_{E_1} variable décrivant le coût des sinistres à la localisation E_1 ;
- X_{E_2} variable décrivant le coût des sinistres à la localisation E_2 ;
- V la variance.

⁴. Abus de langage car correspond plutôt à une contribution à l'écart-type. Cf équation (2.1).

X_{E_1} et X_{E_2} sont totalement corrélées

Dans le cas où X_{E_1} et X_{E_2} sont totalement corrélées, la variance se calcule comme suit :

$$\begin{aligned} V(X_{E_1} + X_{E_2}) &= V(X_{E_1}) + V(X_{E_2}) + 2 \times COV(X_{E_1}, X_{E_2}) \\ &= \sigma_{X_{E_1}}^2 + \sigma_{X_{E_2}}^2 + 2 \times \rho_{(X_{E_1}, X_{E_2})} \times \sigma_{X_{E_1}} \times \sigma_{X_{E_2}} \\ &= \sigma_{X_{E_1}}^2 + \sigma_{X_{E_2}}^2 + 2 \times 1 \times \sigma_{X_{E_1}} \times \sigma_{X_{E_2}} \\ &= (\sigma_{X_{E_1}} + \sigma_{X_{E_2}})^2 \end{aligned}$$

Ainsi, l'écart-type avec une corrélation totale est défini comme la somme des écarts types des deux localisations $\sigma_C = \sigma_{X_{E_1}} + \sigma_{X_{E_2}}$

X_{E_1} et X_{E_2} sont indépendantes

Dans le cas où X_{E_1} et X_{E_2} sont totalement indépendantes, la variance se calcule comme suit :

$$\begin{aligned} V(X_{E_1} + X_{E_2}) &= V(X_{E_1}) + V(X_{E_2}) + 2 \times COV(X_{E_1}, X_{E_2}) \\ &= \sigma_{X_{E_1}}^2 + \sigma_{X_{E_2}}^2 + 2 \times \rho_{(X_{E_1}, X_{E_2})} \times \sigma_{X_{E_1}} \times \sigma_{X_{E_2}} \\ &= \sigma_{X_{E_1}}^2 + \sigma_{X_{E_2}}^2 + 2 \times 0 \times \sigma_{X_{E_1}} \times \sigma_{X_{E_2}} \\ &= \sigma_{X_{E_1}}^2 + \sigma_{X_{E_2}}^2 \end{aligned}$$

Ainsi, l'écart-type avec une indépendance totale est défini par $\sigma_I = \sqrt{\sigma_{X_{E_1}}^2 + \sigma_{X_{E_2}}^2}$

En général les coûts d'un événement à plusieurs localisations ne sont pas totalement corrélés, ils le sont que partiellement. Ainsi, la réalité se trouve entre les deux extrêmes (corrélés et indépendants). En pratique, pour calculer l'écart type associé à la variable coût, un poids est affecté à la partie corrélée en fonction de la catastrophe considérée. Si on note γ le poids de pondération permettant de traduire l'écart-type total comme un barycentre entre l'écart-type indépendant et l'écart-type corrélé, on a alors :

$$STDDVEC = \gamma * \sigma_C = \gamma * (\sigma_{X_{E_1}} + \sigma_{X_{E_2}})$$

Et

$$STDDEVI = (1 - \gamma) * \sigma_I = (1 - \gamma) * (\sqrt{\sigma_{X_{E_1}}^2 + \sigma_{X_{E_2}}^2})$$

Ainsi l'écart-type s'obtient par addition des deux composantes :

$$STD = STDDVEC + STDDEVI \quad (2.1)$$

$$= \gamma * (\sigma_{X_{E_1}} + \sigma_{X_{E_2}}) + (1 - \gamma) * (\sqrt{\sigma_{X_{E_1}}^2 + \sigma_{X_{E_2}}^2}) \quad (2.2)$$

En collaboration avec des courtiers en réassurance, la MAIF dispose de plusieurs jeux d'événements dans le cadre de la modélisation des sinistres catastrophes. Le principal objectif de cette modélisation est de permettre à la société de maîtriser ses risques climatiques et catastrophes naturelles.

Chapitre 3

Maîtrise des risques climatiques et catastrophes naturelles

3.1 Introduction

Les dégâts causés par des catastrophes naturels et des événements climatiques peuvent se chiffrer en plusieurs millions d’euros pour une société d’assurance. Ainsi, il est primordial pour les assureurs de maîtriser ces risques afin de protéger leur résultat et leur solvabilité.

L’étude portant sur la maîtrise des sinistres climatiques et catastrophes naturelles en assurance non vie s’est déroulée au sein de la MAIF, mutuelle d’assurance française. Le groupe MAIF non-vie est composé de trois entités :

- **MAIF Personnes Physiques** : assure les personnels de l’enseignement, du secteur de la culture et des loisirs et les salariés oeuvrant dans les domaines du sport, du handicap, de l’action sociale et de l’humanitaire.
- **MAIF Personnes Morales** : assure les collectivités sans but lucratif. (Associations & Collectivités).
- **Filia-MAIF** : assure tous ceux qui, du fait des dispositions statutaires, ne peuvent adhérer à la mutuelle mais partagent ses valeurs.

La MAIF est une société d'assurance IARD¹ proposant notamment des contrats automobile et habitation.

La réalisation du présent mémoire s'inscrit au sein de la Division Actuariat, Assurance et Réassurance (DAAR) de la MAIF et plus particulièrement dans le secteur Actuariat et Provisionnement. Ce secteur a pour missions de :

- Maîtriser les engagements techniques de l'entreprise (provisions techniques) ;
- Déterminer les provisions pour sinistres à payer, prévisions de recours, provisions pour égalisation des risques, provisions mathématiques des rentes ;
- Réaliser les modélisations stochastiques des passifs techniques ;
- Contribuer à l'évaluation des risques auxquels la société est soumise ;
- Piloter les travaux de modélisation économique de la réassurance.

Dans ce chapitre, nous allons dans un premier temps revenir sur la reconstitution des charges liées aux phénomènes naturels. En effet, sur la base des jeux d'événements présentés dans la section 2.3, nous allons réaliser des simulations dans le but de modéliser la distribution des charges. À partir de ces reconstitutions, nous réaliserons ensuite une étude des pertes modélisées que nous mettrons en regard avec l'historique MAIF. Ce dernier point nous permettra de juger de la cohérence des modélisations stochastiques avec la réalité. Pour finir, nous reviendrons sur la maîtrise des risques Cat-nat et climatiques lors de la tarification des garanties de contrats ainsi que dans le cadre des dossiers prévisionnels.

1. Incendie, Accidents et Risques Divers

Les périls concernés par l'étude de la maîtrise des risques climatiques et catastrophes naturelles sont les tempêtes, les grêles, les tremblements de terre et les inondations. Pour les événements neigeux, les enjeux économiques sont relativement faibles. Selon l'étude de la FFSA [1], la neige représente en moyenne seulement 7,5% des indemnités versées aux suites d'événements climatiques (moyenne constatée sur la période 2007-2012). Concernant les périls sécheresse et tsunami, nous ne disposons pas de jeux d'événements déterminés par une modélisation stochastique. Bien que les sécheresses ne rentrent pas en compte dans le périmètre de cette étude, soulignons que leurs enjeux économiques peuvent être importants (le coût historique des sécheresses de 2003 est évalué à 1 420M d'euros d'après la FFSA[3]). Au sein de la MAIF, la modélisation de ce péril est réalisée à partir de l'historique. Par ailleurs, l'essentiel des sociétaires MAIF sont français. Bien que les territoires d'outre-mer sont des zones sensibles aux événements extrêmes, notre étude concerne exclusivement la France métropolitaine, région où est présent la grande majorité des assurés. Notons que les phénomènes naturels touchent principalement les branches automobile et habitation.

Pour chaque péril étudié, la MAIF dispose d'un jeu d'événements par couple entité/branche. Sur la base de ces jeux, nous allons dans un premier temps recomposer les charges estimées.

3.2 Recomposition de la sinistralité catastrophe

La modélisation probabiliste de la sinistralité catastrophe permet à la MAIF de disposer de jeux d'événements fournis par les courtiers. De plus, croisés avec le portefeuille de la société, ces jeux permettent d'évaluer le montant des dommages à la charge de la compagnie. La MAIF s'appuie sur ces informations afin d'orienter ses choix stratégiques en matière de maîtrise du risque catastrophe. Dans ce cadre, nous avons dans un premier temps recomposé la sinistralité annuelle des phénomènes naturels à partir des jeux d'événements.

3.2.1 Fréquence

Pour chacun des n événements présents dans le jeu, nous simulons une variable aléatoire uniforme U que nous comparons à la probabilité de survenance de l'événement.

Soit :

n le nombre d'événements dans la base

$\forall i=1,\dots,n$ on a :

p_i la probabilité de survenance de l'événement i

u_i la valeur pour l'événement i avec $U \sim Uniforme[0, 1]$

$$\mathbb{1}_i = \begin{cases} 1 & \text{si } p_i > u_i , \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (3.1)$$

Ainsi, pour chaque année nous obtenons N événements.

$$N = \sum_{i=1}^n \mathbb{1}_i \quad (3.2)$$

Après avoir déterminé les N événements, nous devons ensuite simuler le coût de chacun d'entre eux.

3.2.2 Loi des coûts

Le module vulnérabilité du modèle stochastique détermine un coût moyen par événement. Cependant, le coût réel varie suivant de multiples caractéristiques comme l'année de construction du bien, sa hauteur, ses matériaux, etc. Ainsi, la charge liée à un événement suit une loi paramétrique fonction du péril naturel considéré.

Coût pour les tempêtes et les tremblements de terre

Pour déterminer le coût de chaque tempête ou tremblement de terre, il faut dans un premier temps définir le taux d'endommagement de l'événement.

Notons :

τ_i le taux d'endommagement de l'événement i

x_i le coût de l'événement i

ε_i l'exposition de l'événement i

Ainsi, le taux d'endommagement est donné par :

$$\tau_i = \frac{x_i}{\varepsilon_i} \Rightarrow x_i = \tau_i \times \varepsilon_i \quad (3.3)$$

L'exposition ε_i d'un événement est déterminée par le modèle calibré sur le portefeuille de la société. Concernant le taux d'endommagement τ_i , ce dernier est

déterminé à partir d'une loi Beta² dont les paramètres sont différents pour chaque événement.

Notons :

τ_i variable aléatoire du taux d'endommagement de l'événement i

α_i le paramètre α de la loi \mathcal{B}

β_i le paramètre β de la loi \mathcal{B}

Ainsi, $\forall i=1, \dots, n$ on a τ_i déterminé par :

$$\tau_i \sim \mathcal{B}(\alpha_i, \beta_i)$$

À partir des jeux d'événements, nous ne connaissons pas directement la valeur des paramètres α_i et β_i . En revanche, nous pouvons déterminer le taux d'endommagement moyen ainsi que son écart-type.

Notons :

μ_i le taux d'endommagement moyen de l'événement i

σ_i l'écart-type du taux d'endommagement de l'événement i

$$\mu_i = \frac{PERSPVALUE_i}{EXPVALUE_i} \quad (3.4)$$

Avec $PERSPVALUE_i$ le coût moyen de l'événement i et $EXPVALUE_i$ son exposition.

D'après (2.1), on a également :

$$\sigma_i = \frac{STDDEVI_i + STDDEVC_i}{EXPVALUE_i} \quad (3.5)$$

Avec $STDDEVI_i$ l'écart-type indépendant du coût de l'événement i , $STDDEVC_i$ l'écart-type corrélé du coût de l'événement i et $EXPVALUE_i$ son exposition.

Par ailleurs, la loi Béta a pour espérance $\frac{\alpha}{\alpha+\beta}$ et pour variance $\frac{\alpha \times \beta}{(\alpha+\beta)^2 \times (\alpha+\beta+1)}$.

Ainsi nous pouvons poser le système suivant :

$$\begin{cases} \mu_i = \frac{\alpha_i}{\alpha_i + \beta_i} \\ \sigma_i = \sqrt{\frac{\alpha_i \times \beta_i}{(\alpha_i + \beta_i)^2 \times (\alpha_i + \beta_i + 1)}} \end{cases} \quad (3.6)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} \alpha_i = \mu_i \times \left(\frac{\mu_i \times (1 - \mu_i)}{\sigma_i^2} - 1 \right) \\ \beta_i = (1 - \mu_i) \times \left(\frac{\mu_i \times (1 - \mu_i)}{\sigma_i^2} - 1 \right) \end{cases} \quad (3.7)$$

2. La loi Beta est une famille de lois de probabilités continues et définies sur $[0, 1]$. Elle est composée de deux paramètres α et β . Pour $x \in [0, 1]$, la fonction de densité peut s'écrire : $f(x; \alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} \mathbb{1}_{[0,1]}(x)$

Pour déterminer le coût d'une tempête ou d'un tremblement de terre, nous simulons dans un premier temps une variable aléatoire de loi Béta avec les paramètres α_i et β_i déterminés à partir de l'équation (3.7). Cette simulation nous donne le taux d'endommagement τ_i de l'événement. Comme expliqué avec l'équation (3.3), nous pouvons ensuite déterminer le coût x_i de l'événement en multipliant son taux d'endommagement τ_i par son exposition ε_i .

Illustration de la détermination d'un coût à partir d'une loi Béta

À partir d'un événement présent dans le jeu, nous allons illustrer les propos précédents en déterminant le coût d'un sinistre. Prenons l'événement suivant :

CURR	EVENTID	PERSPVALUE	STDDEVI	STDDVEC	EXPVALUE	RATE
EUR	2 903 566	170 931 234	1 081 817	41 208 031	71 730 695 361	1,188E-05

FIGURE 3.1 – Extrait illustratif d'un scénario

Dans un premier temps nous constatons avec la variable RATE que l'événement a une faible probabilité de survenance (0,00001188). Son coût moyen est de 170,9 millions d'euros et son exposition est de 71,7 milliards de risques. Ainsi, avec l'équation (3.4), nous déterminons le taux d'endommagement moyen μ_i .

$$\mu_i = \frac{170931234}{71730695361} = 0,00238156$$

De la même façon, avec l'équation (3.5), nous pouvons déterminer l'écart-type du taux d'endommagement σ_i .

$$\sigma_i = \frac{1081817 + 41208031}{71730695361} = 0,00058956$$

À partir de μ_i et σ_i et en nous appuyant sur le système d'équations (3.7), nous pouvons désormais déterminer α_i et β_i de la loi Béta.

$$\begin{cases} \alpha_i = 16,27658 \\ \beta_i = 6818,1326 \end{cases}$$

Nous simulons ensuite un taux d'endommagement à partir de la loi Béta de paramètres α_i et β_i . En effectuant une simulation nous obtenons $\tau_i = 0,0022906776$, ainsi le coût de l'événement x_i donné par l'équation (3.3) est :

$$x_i = 0,0022906776 \times 71730695361 = 164311897$$

Remarquons qu'en simulant un grand nombre de fois la loi Béta de paramètres α_i et β_i , nous retrouvons comme attendu un taux d'endommagement moyen proche de μ_i et un écart-type proche de σ_i . Le graphique ci-dessous représente la fonction de répartition d'une loi beta de paramètres α_i et β_i issue de 100 000 simulations.

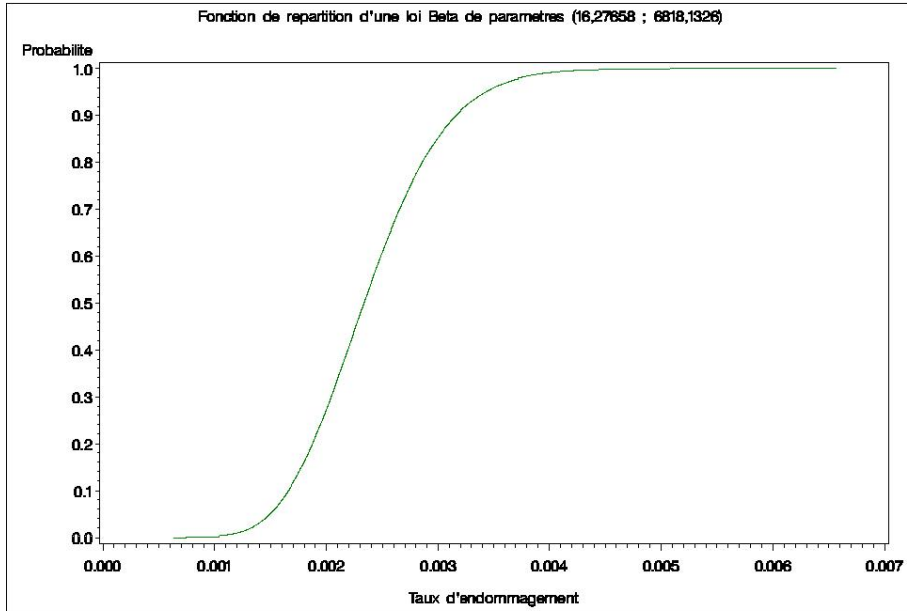


FIGURE 3.2 – Fonction de répartition d'une loi Béta de paramètres (16,27658 ; 6818,1326)

Coût pour la grêle et l'inondation

Pour les périls naturels comme la grêle et l'inondation, nous supposons que le coût est constant pour un événement donné. En effet, contrairement aux tempêtes et aux tremblements de terre, ces événements ont très peu d'aléa sur leurs dégâts. Alors qu'une même tempête peut provoquer des dommages différents, un même épisode grêleux ne connaîtra pas une grande volatilité dans ses destructions. Ainsi notons :

x_i le coût de l'événement i tel que :

$$x_i = \text{PERSPV}ALUE_i \quad (3.8)$$

À partir des jeux d'événements fournis par les courtiers en réassurance, la

MAIF peut modéliser la sinistralité catastrophe et la projeter dans le temps. Nous allons à présent nous intéresser aux processus de modélisation.

3.2.3 Processus de modélisation

Les événements catastrophes ont une probabilité de survenance relativement faible. En revanche, les dégâts causés peuvent s'élever à plusieurs milliards d'euros sur un marché national comme la France. D'après un document de 2012 du réassureur Munich Re, les dommages issus de Cat-Nat sont en augmentation depuis 30 ans comme en témoigne le graphique ci-dessous. Soulignons toutefois que l'évolution serait plus atténuée si l'étude portait sur la période 1988-2010.

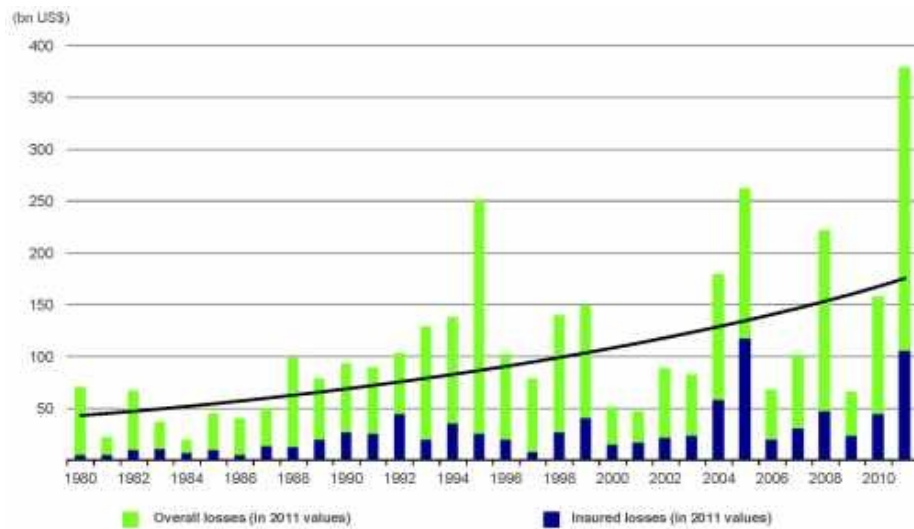


FIGURE 3.3 – Dommages issus de catastrophes naturelles entre 1980 et 2011. Source Munich Re

Plusieurs analyses établissent une corrélation positive entre l'évolution croissante de la fréquence des phénomènes naturels et le réchauffement climatique. Selon une étude sur le changement climatique publiée par la FFSA en 2009 [6], la France métropolitaine doit s'attendre à une augmentation de 10% de la fréquence des sécheresses et des tempêtes entre 2007 et 2030 et de 15% pour les inondations sur la même période. Les cartes ci-dessous illustrent les départements les plus impactés par le réchauffement climatique suivant le péril concerné.

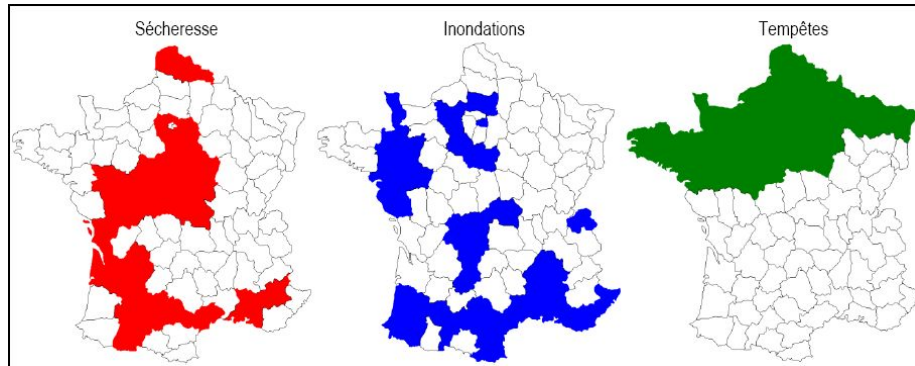


FIGURE 3.4 – Départements principalement impactés par le réchauffement climatique. Source FFSA

Les zones argileuses seraient concernées par l'augmentation de la fréquence des sécheresses. Quant aux inondations, les régions touchées seraient celles sujettes aux risques de débordement de cours. Enfin, l'augmentation de la fréquence des tempêtes impacterait principalement le tiers nord de la France.

Les évolutions de la fréquence et de la sévérité des phénomènes naturels impactent la solvabilité des assureurs. Par conséquent, il est primordial pour les compagnies d'assurance de modéliser leur sinistralité catastrophe. Dans ce cadre, nous avons modélisé la charge des phénomènes naturels pour le groupe MAIF non-vie à partir des jeux d'événements exposés précédemment. Pour ce faire nous avons, via le logiciel SAS, simulé dans un premier temps un grand nombre d'années (100 000 simulations où une simulation correspond à une année). Pour chaque année et chaque type de périls (tempête, tremblement de terre, grêle et inondation), nous déterminons ensuite le nombre d'événements N à partir de l'équation (3.2). Enfin, pour les événements survenus, nous déterminons le coût pour chaque entité à partir de l'équation (3.3) pour les tempêtes et les tremblements de terre et à partir de l'équation (3.8) pour la grêle et l'inondation. Notons :

K le nombre de simulations par type événement,

$\forall k=1, \dots, K$, on a N^k le nombre d'événements survenus lors de la k^{eme} simulation,

$\forall j=1, \dots, N^k$, on a x_j^k le coût du j^{eme} événement survenu lors de la k^{eme} simulation.

Ainsi, $\forall k=1, \dots, K$, nous pouvons déterminer :

$$AL^k = \sum_{j=1}^{N^k} (x_j^k) \quad (3.9)$$

$$ML^k = \max(x_1^k, \dots, x_j^k, \dots, x_{N^k}^k) \quad (3.10)$$

Avec AL^k (*Annual Loss*), le montant total des pertes lors de la k^{eme} simulation et ML^k (*Maximum Loss*), le coût du plus gros événement de la k^{eme} simulation.

Remarque

Dans la simulation de ces événements, un événement (s'il survient) affectera potentiellement plusieurs contrats simultanément. Une tempête qui passe sur le territoire français touchera à la fois MAIF et Filia-MAIF et causera à la fois des dommages auto et habitation. Ainsi, lors de la simulation, chaque événement survenant sera appliqué à la fois aux portefeuilles MAIF PP, MAIF PM et Filia-MAIF ainsi qu'aux branches auto et MRH. En revanche, le coût d'un événement dépend des risques assurés de chacune des entités.

Périodes de retour

À partir des K simulations réalisées, nous avons pu constituer une base de données SAS par couple entité/produit où chaque individu correspond à une simulation. De plus, comme représenté avec le tableau ci-dessous, nous avons les variables AL et ML déterminées respectivement avec les équations (3.9) et (3.10).

Simulation	AL	ML	Nombre d'événements
1	24 957 223	13 938 144	34
2	18 943 214	9 543 246	31
3	28 954 368	18 975 350	38

FIGURE 3.5 – Représentation de la base de données SAS constituée avec les simulations

Nous pouvons déterminer les fonctions de répartition du montant total des pertes FdR_{AL} et du coût de la sinistralité maximale de l'année FdR_{ML} en

appliquant une probabilité p à chacune des années simulées, tel que :

$$p = 1/K$$

En s'appuyant sur les quantiles respectifs, nous pouvons définir les périodes de retour correspondant au temps moyen d'attente avant de voir revenir une année présentant des montants AL ou ML au moins équivalents.

Notons :

q le niveau de probabilité ;

T la période de retour.

$$1 - q = \frac{1}{T} \quad (3.11)$$

$$T = \frac{1}{1 - q} \quad (3.12)$$

Enfin, pour définir le montant AL ou ML correspondant à cette période de retour, il suffit de s'intéresser au quantile de niveau q .

Illustration Afin d'illustrer la détermination de la période de retour, considérons un niveau de probabilité $q = 0,99$. Ainsi, en nous appuyant sur l'équation (3.12), nous avons une période de retour de $T = \frac{1}{0,01} = 100$ ans. Le montant AL ou ML ayant une période de retour de 100 ans est le quantile de niveau $q = 0,99$, soit la valeur médiane.

Courbes EP (Exceedance Probability)

Les résultats du modèle sont ensuite analysés grâce aux courbes EP (Exceedance Probability) représentatives de deux grandeurs. Dans le cadre d'un groupe de travail portant sur le modèle de tempête en Europe, Emmanuel DUPUY et Abdourahmane KAH [7] définissent ces courbes :

- **Courbe OEP** : Occurrence Exceedance Probability, associant une période de retour en années au coût maximal d'un événement sur une année.
- **Courbe AEP** : Aggregate Exceedance Probability, associant une période de retour en années au coût total des événements sur une année.

Le graphique ci-dessous représente les courbes OEP et AEP précédemment définies. Notons que cette représentation graphique est une autre manière de visualiser des fonctions de répartition.

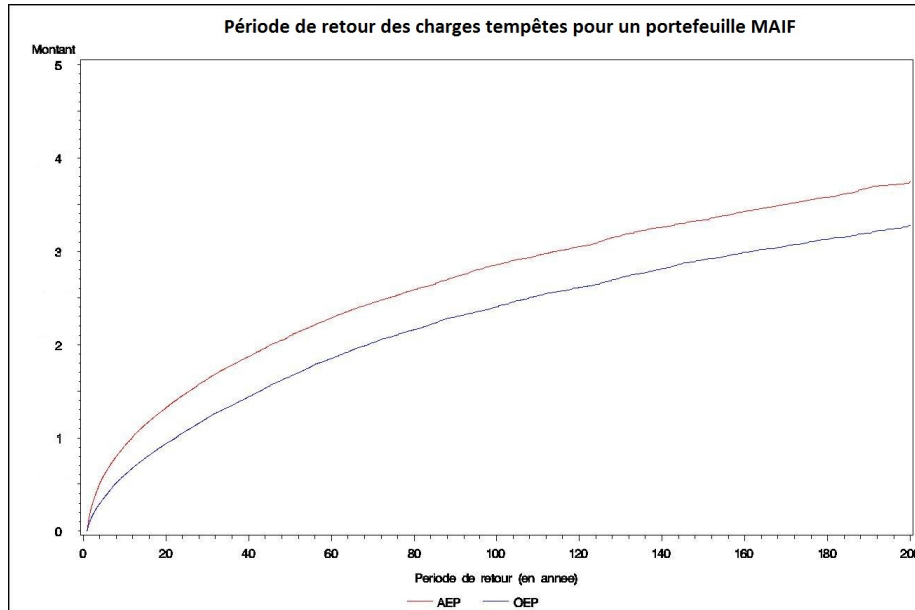


FIGURE 3.6 – Illustration courbes AEP et EOP à partir de la modélisation.

Notons que par souci de confidentialité, l'échelle des montants a été modifiée.

L'étude des périodes de retour des phénomènes naturels est déterminante pour estimer les charges futures probables de ces événements. Après avoir fait une analyse des statistiques descriptives sur la base de cette modélisation, nous aborderons la prise en compte des risques climatiques et Cat-nat dans le cadre de la tarification et du business plan de la MAIF.

3.3 Etude des charges modélisées

Sur la base de la modélisation des sinistres catastrophes présentée dans la section 3.2, la MAIF peut prendre plusieurs décisions. Cependant, avant de se positionner sur ses choix, elle doit effectuer une analyse critique des charges modélisées afin de s'en assurer la cohérence. À cet égard, cette section porte sur l'étude des résultats issus de la modélisation stochastique. Après avoir présenté

les chiffres clés de la modélisation par péril, nous mettrons en regard ces résultats avec ceux de l'historique de la MAIF. Dans ce cadre, nous nous intéresserons particulièrement à la problématique de la mise en As-If. Enfin, cette section se terminera par une conclusion de l'analyse critique des charges modélisées.

3.3.1 Statistiques descriptives

Pour l'ensemble des périls étudiés (tempête, grêle, inondation, tremblement de terre), nous avons simulé 100 000 années. Le nombre d'événements N survenus par péril pour chacune de ces années est une variable aléatoire (équation (3.1)). Après avoir estimé la charge de chaque événement, nous avons déterminé par péril la charge totale annuelle (équation (3.9)) ainsi que le montant de la sinistralité maximale (équation (3.10)). Ces deux variables sont fondamentales pour les assureurs. La première permet d'estimer le poids de la sinistralité annuelle des phénomènes naturels sur le résultat de l'exercice. L'étude de la sinistralité maximale est quant à elle importante dans le cadre de la réforme Solvabilité 2. Elle permet notamment de comparer avec le risque Cat à 99,5% de la formule standard.

Sur la base de la modélisation stochastique, nous avons réalisé des statistiques descriptives. Par souci de confidentialité, nous illustrerons les indicateurs étudiés sans toutefois donner leur résultat. Les charges issues de la modélisation des périls sont brutes. Ainsi, dans un premier temps nous analyserons ces montants puis nous appliquerons la réassurance afin d'étudier les charges nettes.

Notons que ces résultats portent sur le périmètre toutes entités (MAIF PP, MAIF PM et Filia MAIF) et tous produits (automobile & habitation). Sur la base de la modélisation stochastique, nous avons déterminé la répartition moyenne des charges entre les deux produits suivant le péril concerné. Soulignons que le jeu d'événements pour l'inondation a un niveau de maille agrégé tous produits, ainsi nous émettons l'hypothèse que la charge d'une inondation impacte les produits automobile et habitation dans les mêmes proportions qu'une tempête.

	Tempête	Grêle	Inondation (hypothèse)	Tremblement de terre
Habitation	92,22%	36,08%	92,22%	99,96%
Automobile	7,78%	63,92%	7,78%	0,04%

FIGURE 3.7 – Ventilation des charges des différents périls entre les produits habitation et automobile

Soulignons que l’habitation est la branche la plus concernée par les périls tempêtes, inondations et tremblements de terre. À l’inverse, ce sont les automobiles qui subissent le plus de dégâts après la survenance d’un épisode grêleux, avec notamment des dommages sur les carrosseries provoqués par l’impact des grêlons. Lors du week-end de la Pentecôte 2014, de violents orages de grêle sont venus frapper la France. Alors que la FFSA estime que ces derniers coûteront entre 800M et 900M d’euros aux assureurs, le GEMA constate que 58% des dossiers concernent l’automobile et 41% l’habitation. La proportion de dossiers MRH frappés par cet événement est liée à la taille des grêlons, impactant verandas et fenêtres de toit.

Charges brutes

Pour les quatre périls étudiés, nous avons déterminé la charge moyenne annuelle (*AAL : Average Annual Loss*) à partir de l’équation (3.9).

$$AAL = \frac{\sum_{k=1}^K (AL^k)}{K} \quad (3.13)$$

Avec K le nombre de simulations. $K = 100000$.

Le camembert ci-dessous représente la part des charges moyennes annuelles par péril sur la base de la modélisation stochastique.

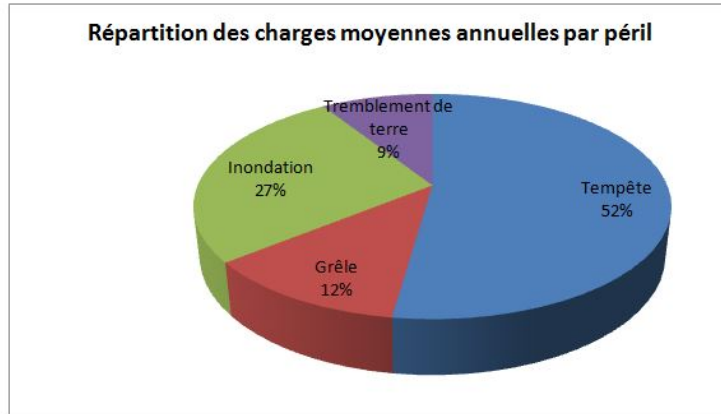


FIGURE 3.8 – Part des charges moyennes annuelles par péril

D’après les modélisations stochastiques, la tempête est le phénomène naturel étudié qui a le plus d’enjeux économiques pour le portefeuille de la MAIF. En effet, sa charge moyenne annuelle représente plus de la moitié des pertes moyennes par exercice liées aux événements majeurs. D’après le tableau ci-dessous, illustrant le nombre moyen d’événements par année, ceci peut s’expliquer par une fréquence élevée (en moyenne 40 tempêtes par an d’après la modélisation stochastique). L’inondation représente quant à elle plus d’un quart des charges moyennes annuelles. Attention, les jeux sont constitués d’événements de différente intensité. Ainsi, nous y retrouvons notamment des tempêtes dont la charge est très faible.

Tempête	Grêle	Inondation	Tremblement de terre
40,16	19,96	4,015	0,65

FIGURE 3.9 – Nombre moyen d’événements par péril pour un exercice

À partir de l’équation (3.10), nous pouvons également déterminer le coût moyen de la sinistralité maximale (*PML : Probable Maximum Losses*).

$$PML = \frac{\sum_{k=1}^K (ML^k)}{K} \quad (3.14)$$

Le tableau ci-dessous représente le poids du coût moyen de la sinistralité maximale par rapport à la perte moyenne annuelle $\frac{PML}{AAL}$.

Tempête	Grêle	Inondation	Tremblement de terre
65,7%	59,2%	81,7%	96,8%

FIGURE 3.10 – Poids du coût moyen de la sinistralité maximale par rapport à la charge moyenne annuelle

Ainsi, la plus forte tempête annuelle représente en moyenne 66% de la perte totale liée à cet événement. Ce pourcentage est plus fort pour les périls inondation et tremblement de terre. Ceci s'explique par une fréquence de surveillance plus faible (4 inondations par an en moyenne et un tremblement de terre quasiment une fois tous les deux ans). Le plus fort épisode grêleux de l'année représente en moyenne 59% de la perte totale liée à cet événement.

L'évaluation des pertes moyennes est un élément important pour les assureurs puisqu'il permet de tarifier les contrats d'assurance. La tarification est déterminée par deux composantes :

- La charge moyenne nette de réassurance des phénomènes naturels ;
- Le coût de la réassurance.

L'appréciation de la distribution des pertes est également primordiale. Elle intervient notamment dans le cadre de la protection des fonds propres avec l'étude des événements d'intensité extrême. Ainsi, comme présenté dans la sous-section 3.2.3, nous avons évalué les périodes de retour OEP et AEP pour les périls étudiés.

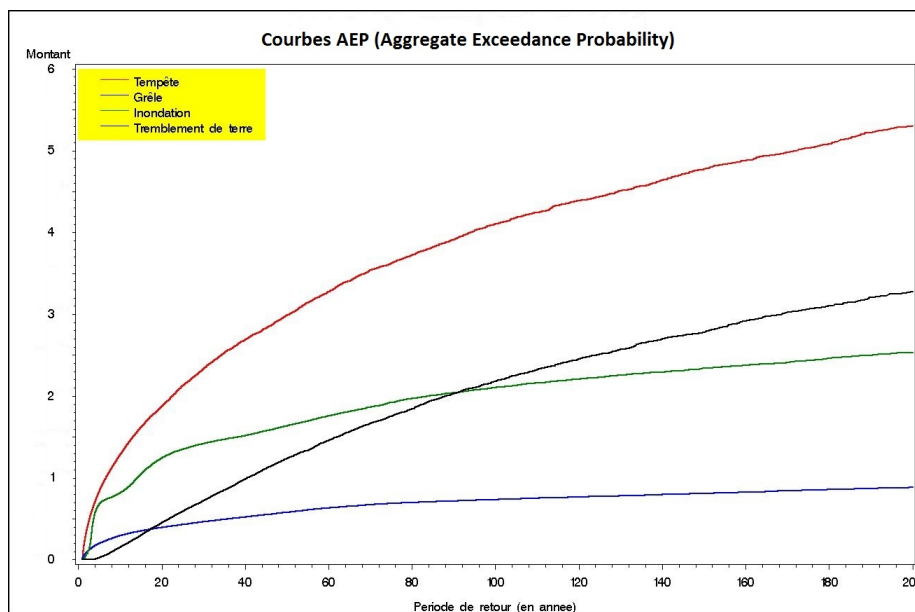


FIGURE 3.11 – Période de retour du coût total sur une année

La courbe AEP associe une période de retour (en années) au coût total des événements sur un an. D'après le graphique ci-dessus, la tempête est le péril ayant le plus d'enjeux économiques. En effet, selon la modélisation stochastique, le coût total annuel des tempêtes avec une période de retour 5 ans est de 0,8 pour le portefeuille de la MAIF, de 2,1 avec une périodicité de 25 ans et de 4,1 une fois tous les 100 ans.

L'inondation est un péril dont la charge annuelle est relativement importante sur de courtes périodes de retour (0,6 une fois tous les 5 ans et 1,3 avec une période de retour de 25 ans). Contrairement aux tempêtes, le coût total annuel des inondations augmente peu sur des périodes de retour plus longues (2,1 une fois tous les 100 ans et 2,5 avec une période de retour de 200 ans).

À l'inverse, les tremblements de terre ont de faibles enjeux économiques sur de courtes périodes de retour (0,2 une fois tous les 5 ans et 0,6 avec une période de retour de 25 ans). En revanche, ce péril peut avoir d'importantes conséquences sur des périodes de retour plus longues (2,2 avec une période de retour centenaire et 3,3 une fois tous les 200 ans).

Enfin, d'après le modèle stochastique, la grêle a très peu d'enjeux pour la MAIF. En effet, son coût total annuel passe de 0,2 avec une période de retour de 5 ans à 0,9 une fois tous les 200 ans.

Le graphique ci-dessous représente les courbes OEP pour les quatre périls étudiés. Une courbe OEP associe une période de retour (en années) au coût maximal d'un événement sur un an.

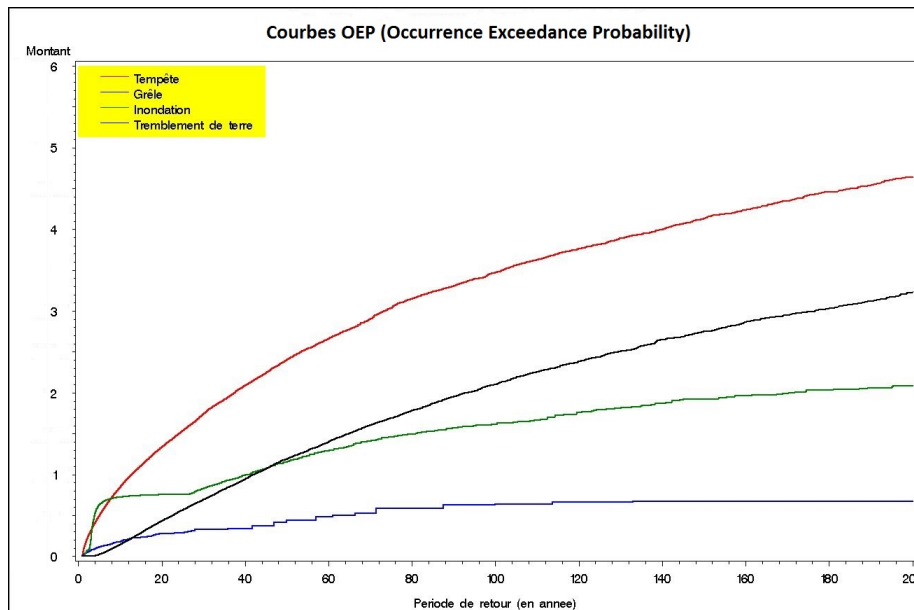


FIGURE 3.12 – Période de retour du coût maximal d'un événement sur une année

Sur la base de la modélisation stochastique, la MAIF connaît en moyenne tous les 5 ans une tempête atteignant une charge de 0,5. Une tempête centenaire a quant à elle un coût estimé à 3,5.

La distribution de la charge maximale des inondations est atypique. En effet, sur l'intervalle 2 ans - 5 ans, la variation de la charge est très sensible à la période de retour (0,07 pour une périodicité de 2 ans contre 0,6 pour 5 ans). Ensuite, le coût de la sinistralité maximale évolue peu sur un intervalle d'une vingtaine d'années avant d'augmenter progressivement sur des périodes de retour plus longues (0,8 avec une période de retour de 25 ans et 1,6 une fois tous les 100 ans). Cette distribution semble être la conséquence d'anomalies présentes dans les jeux d'événements des inondations. Suite à cette observation, la MAIF se rapprochera des courtiers de réassurance afin de discuter sur ce sujet.

Concernant le tremblement de terre, la distribution du coût de la sinistralité maximale est quasiment confondue avec celle de la sinistralité totale sur un an

(graphique 3.11). Ceci s'explique par la faible fréquence de survenance de ce péril (0,65 sinistre par an en moyenne d'après le tableau 3.9).

La courbe OEP de la grêle nous confirme que ce péril a peu d'enjeux économiques. Notons qu'à partir d'une période de retour d'environ 40 ans, la courbe a des sauts. Ceci se traduit par le fait que la grêle ne connaît pas d'événements à forte sinistralité.

Charges nettes

La MAIF est réassurée avec un traité en XS par événement pour les périls climatiques hors Cat-nat (tempêtes et grêles). Concernant les catastrophes naturelles (tremblements de terre et inondations enregistrés comme Cat-nat), la MAIF est réassurée auprès de la CCR par un traité en quote-part et un stop-loss (cf. sous-section 1.3.2). Pour rappel, la MAIF est également couverte par un programme "Aggregate sur rétention" alimenté par plusieurs événements (climatiques et catastrophes naturelles) (cf. sous-section 1.3.2). La tempête étant le péril ayant les enjeux économiques les plus importants, nous allons à présent nous intéresser aux charges nettes liées à ce phénomène naturel. Pour cela, nous allons appliquer le traité **A XS B** à chaque événement simulé dans la modélisation stochastique.

Après application du traité **A XS B**, nous pouvons estimer le rapport entre le net et le brut pour la charge moyenne annuelle des tempêtes ainsi que pour le coût moyen de la sinistralité maximale.

Tempête : Rapport Net/Brut pour	
La charge moyenne annuelle	La charge moyenne de la sinistralité maximale
82%	74%

FIGURE 3.13 – Rapport des charges nettes sur brutes pour la tempête

Notons que le traité en XS pour les tempêtes permet à la MAIF de réduire sa charge moyenne brute sur un an de 18%.

La courbe OEP sur les charges nettes, que nous ne présenterons pas ici pour cause de confidentialité, est une étude importante pour la MAIF. En effet, cette courbe permet d'estimer la période de retour à partir de laquelle le programme de réassurance en XS intervient. Grâce à cette étude, la MAIF peut également prévoir la période de retour où le plafond de garantie est atteint.

La modélisation probabiliste a l'avantage de tenir compte des phénomènes naturels jamais encore survenus mais pouvant se réaliser dans le futur. Cependant, afin de vérifier la cohérence des résultats présentés ci-dessus, nous allons à présent faire un parallèle avec l'historique de la MAIF.

3.3.2 Mise en regard avec l'historique MAIF

Dans le but de comparer les charges des phénomènes naturels sur la base de la modélisation stochastique avec celles présentes dans l'historique de la MAIF, il faut au préalable réaliser une mise en As-if des sinistres passés. L'analyse en As-if permet d'estimer la charge d'un événement antérieur en tenant compte du contexte économique actuel. Ainsi, cette analyse consiste à réaliser à la fois une déformation du portefeuille et une actualisation des charges historiques.

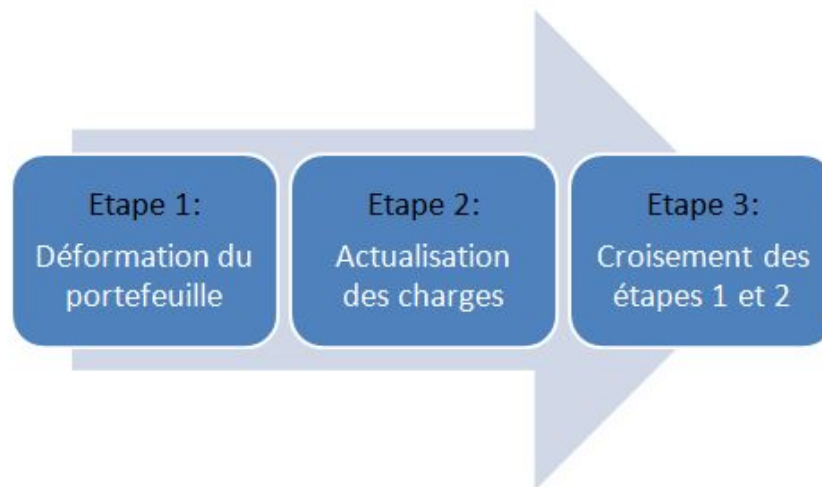


FIGURE 3.14 – Processus de mise en As-if des sinistres historiques

Déformation du portefeuille

Au cours du temps, les portefeuilles des assureurs évoluent. Le nombre de contrats et les valeurs assurées peuvent augmenter d'année en année. Ainsi, il est nécessaire de tenir compte de ces évolutions dans le cadre d'une mise en As-if. Le graphique ci-dessous illustre l'évolution du portefeuille habitation de la MAIF entre 1988 et 2013.

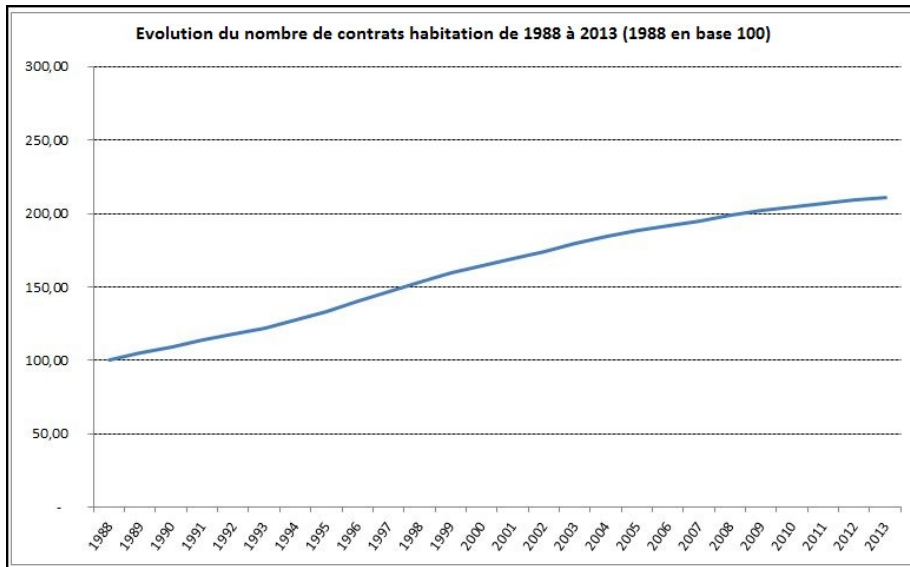


FIGURE 3.15 – Evolution du portefeuille habitation de la MAIF entre 1988 et 2013

À partir du graphique ci-dessus, nous constatons que le nombre de contrats a doublé entre 1988 et 2008. Ainsi, lors d'une mise en As-if en 2008 d'un événement survenu en 1988, il faudrait doubler le nombre réel de déclarations de sinistre liées à l'habitation.

Dans le cadre de l'analyse As-if, nous avons émis deux principales hypothèses :

- L'évolution du portefeuille des sociétaires est uniforme sur le territoire français ;
- Le nombre moyen de risques par contrat reste constant.

Certaines régions françaises sont plus sensibles à des phénomènes naturels

que d'autres (exemple : risque d'inondation à proximité d'un fleuve). Il est possible qu'en réalité l'évolution du portefeuille a été plus ou moins forte dans ces régions. Cependant, nous avons émis l'hypothèse d'une évolution uniforme sur l'ensemble du territoire français. La MAIF pourrait aller plus loin en utilisant du géocodage³ pour ses risques habitations. Ce procédé permettrait de superposer la carte des risques MRH de la MAIF avec celle des régions les plus vulnérables issue du SIG MRN⁴. Par ailleurs, les contrats habitation de la MAIF sont atypiques puisqu'un même contrat peut posséder plusieurs risques. Ainsi, nous supposons que le nombre moyen de risques par contrat reste constant dans le temps.

Actualisation des coûts historiques

D'après la FFSA, les tempêtes Lothar et Martin de 1999 ont provoqué des dommages s'élevant à 6,9 milliards d'euros (en euro courant) [1]. Si ces mêmes tempêtes se reproduisent aujourd'hui, la charge totale serait probablement plus importante, principalement en raison de l'inflation. Ainsi, dans le cadre de la mise en As-if, il est nécessaire de tenir compte de l'évolution des prix. Plusieurs taux d'actualisation peuvent être utilisés :

- Évolution de l'indice du coût de la construction de la Fédération Française du Bâtiment (FFB). Applicable uniquement aux charges liées à l'habitation.
- Évolution des indices de l'organisme Sécurité et Réparation Automobiles (SRA) (Coût des pièces détachées, de la main-d'oeuvre et de la peinture). Applicable uniquement aux charges liées à l'automobile.
- Évolution de la charge moyenne des sinistres historiques MAIF.

Une autre hypothèse peut également être posée concernant les événements importants comme Lothar et Martin. Afin d'estimer la charge de resurvenance de ces tempêtes, nous pouvons appliquer le coût moyen d'un événement exceptionnel récent. Cette hypothèse permet d'être moins sensible à l'incertitude portant sur l'inflation car l'actualisation est réalisée sur une période relativement courte. La dernière tempête touchant la France avec une forte intensité est Klaus⁵. Notons qu'en 1999, l'ampleur des dommages a provoqué une pénurie

3. Affectation des coordonnées géographiques à une adresse

4. Système d'Information Géographique (SIG) de la Mission Risques Naturels (MRN). La MRN est une association entre la FFSA et le GEMA

5. Tempête de janvier 2009 touchant la région sud-ouest de la France. Elle est considérée comme étant la plus destructrice en France depuis Lothar et Martin avec des dégâts estimés à 1,2 milliard d'euro selon la FFSA

de main-d'oeuvre occasionnant une éventuelle sur-inflation. À cet égard, nous pouvons enrichir l'hypothèse du coût moyen Klaus par une sur-inflation liée à la carence de main-d'oeuvre lors d'événements comme Lothar et Martin. D'après les études des courtiers en réassurance, cette sur-inflation est estimée à 15% pour Lothar et 10% pour Martin.

Indice FFB La Fédération Française du Bâtiment renseigne l'indice du coût de la construction pour chaque trimestre. D'après le graphique ci-dessous, correspondant à l'évolution de cet indice de 1999 à 2013, l'inflation dans le bâtiment est estimée à environ 62% sur la même période. Ainsi, en s'intéressant uniquement aux dégâts du bâtiment, le coût de resurvenance en 2013 des tempêtes de 1999 serait 1,62 fois plus important que la charge historique, toutes choses égales par ailleurs.

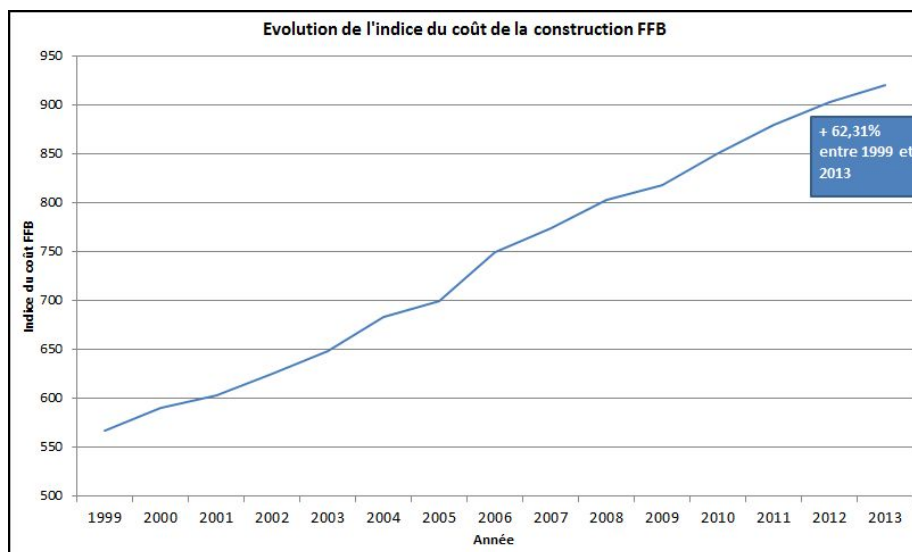


FIGURE 3.16 – Évolution de l'indice FFB de 1999 à 2013

Indice SRA Alors que la FFB renseigne l'indice du coût de la construction, SRA fournit les indices du coût de réparations des véhicules. On y retrouve trois postes de dépense :

- Les pièces détachées ;
- La main-d'oeuvre ;
- La peinture.

La MAIF émet l'hypothèse que la charge totale d'une réparation automobile est ventilée entre ces trois postes de la façon suivante :

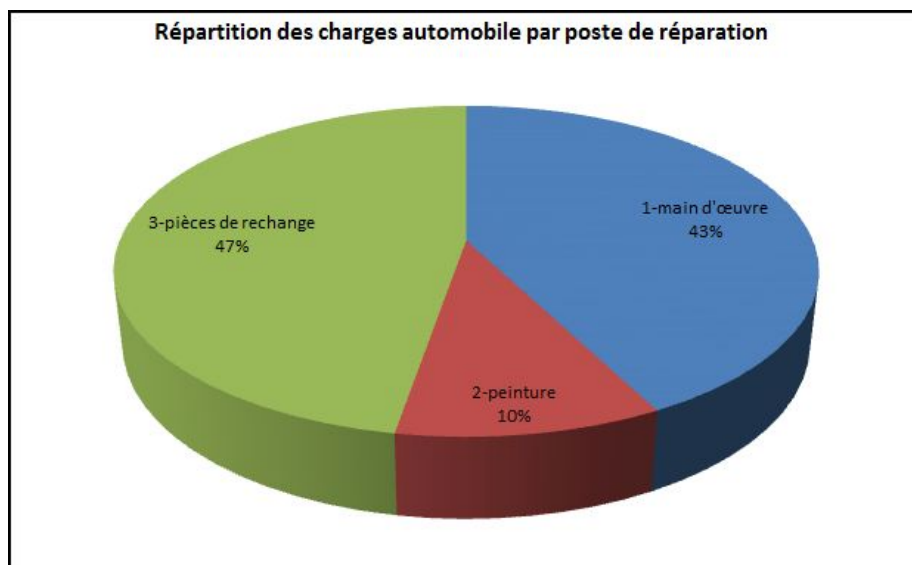


FIGURE 3.17 – Répartition des charges automobiles par poste de réparation

En appliquant ces clés de ventilation aux indices respectifs de chacun des trois postes, le coût d'une réparation automobile a augmenté d'environ 78% entre 1999 et 2013, comme en témoigne le graphique ci-dessous.

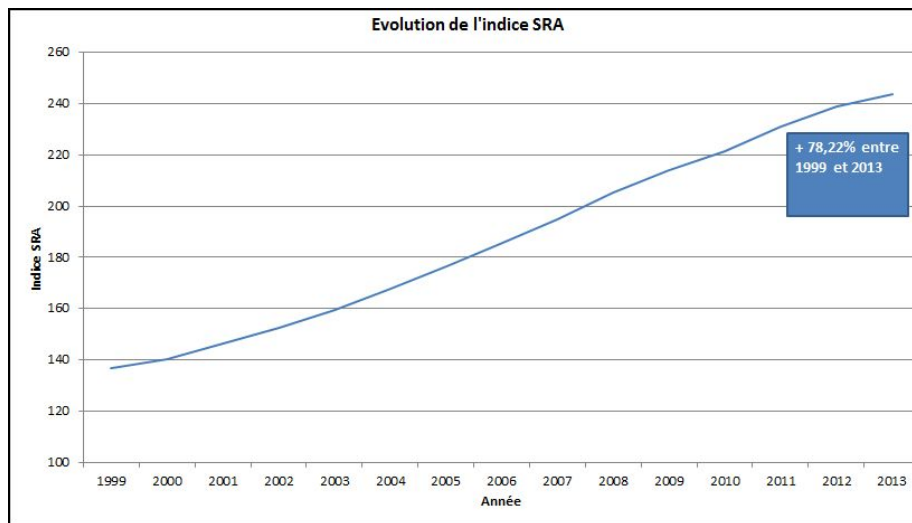


FIGURE 3.18 – Évolution de l'indice SRA de 1999 à 2013

Évolution de l'historique MAIF L'évolution du coût moyen d'un dossier à partir de l'historique MAIF peut-être une autre hypothèse permettant de déterminer un taux d'actualisation dans le cadre de la mise en As-if. Le graphique ci-dessous représente l'évolution du coût moyen d'une tempête (produits automobile et habitation, toutes entités) selon l'année de survenance.

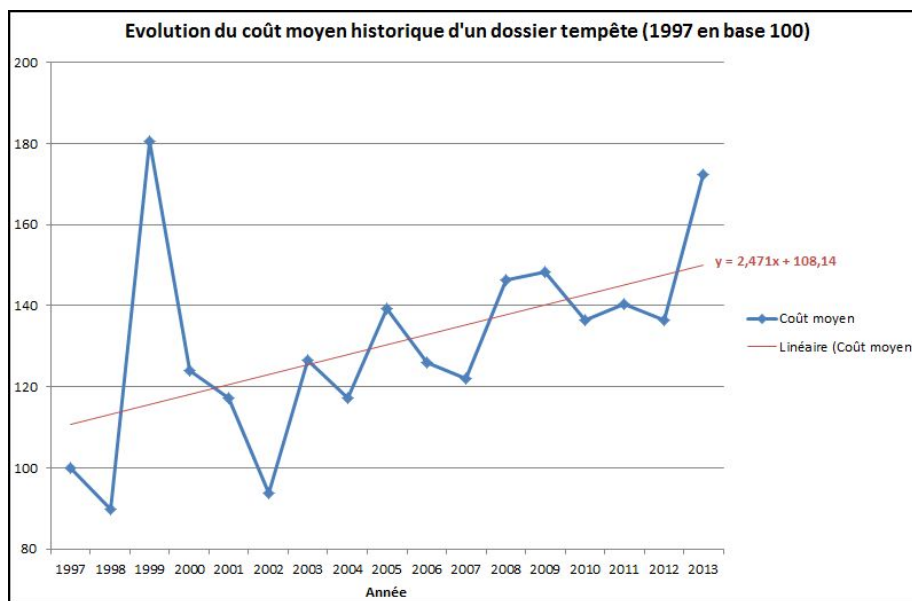


FIGURE 3.19 – Évolution du coût moyen historique d'un dossier tempête de 1997 à 2013

À partir de la droite de régression, nous déterminons une évolution moyenne annuelle de 2,28%. En s'intéressant uniquement au produit habitation, ce taux est ramené à 2,25% (contre 3,11% pour l'indice FFB sur la même période). Pour l'automobile, ce taux est de 2,42% (contre 3,66% pour l'indice SRA sur la même période).

Le tableau ci-dessous résume les différents taux d'actualisation selon l'hypothèse choisie. Ces taux correspondent à la moyenne annuelle de l'évolution constatée entre 1997 et 2013.

	Tempête		Grêle	
	Indices (FFB pour habitation et SRA pour auto)	Historique MAIF	Indices (FFB pour habitation et SRA pour auto)	Historique MAIF
Habitation	3,11%	2,25%	3,11%	6,04%
Automobile	3,66%	2,42%	3,66%	1,43%

FIGURE 3.20 – Taux d'actualisation pour les événements climatiques selon l'hypothèse retenue

Coût moyen Klaus La dernière hypothèse suppose que lors de la survenance d'une violente tempête de type Lothar ou Martin, le coût moyen d'un dossier est constant. La dernière tempête de cette envergure est Klaus en janvier 2009 dont le coût moyen est \bar{x} . La resurvenance en 2014 d'une tempête comme Lothar serait alors évaluée par $\bar{x} \times n_{Lothar} \times (1 + \tau) \times (1 + \pi)^{2014-2009}$ avec n_{Lothar} le nombre de dossiers provoqués par la tempête Lothar, τ le taux de sur-inflation et π l'indexation annuelle. Notons que pour tenir compte de l'évolution des prix entre le dernier phénomène majeur survenu et la date de mise en As-if, nous utilisons l'hypothèse d'évolution de l'historique MAIF présentée dans le paragraphe précédent.

Comparaison des hypothèses

	Indices FFB et SRA	Historique MAIF	Coût moyen KLAUS
Avantages	Données du marché	Adapté au portefeuille MAIF	Repose sur des événements comparables
Inconvénients	Semble sur-évaluer l'inflation	Sensible à des sinistres importants et des pénuries de main-d'oeuvre	S'appuie sur un unique événement

FIGURE 3.21 – Avantages et inconvénients des hypothèses d'actualisation

L'ensemble des hypothèses possèdent des avantages et inconvénients. Nous avons mis en place un outil permettant d'estimer le coût de resurvenance des principales tempêtes en fonction des différentes hypothèses.

3.3.3 Outil de mise en As-if des principales tempêtes

Suivant les hypothèses d'évolution du coût, la charge de resurvenance d'une tempête comme Lothar ou Martin varie de manière significative. Dans ce cadre, nous avons créé un outil permettant d'estimer le coût de resurvenance des principaux événements suivant les différentes hypothèses retenues. Le schéma ci-dessous illustre le processus de fonctionnement de l'outil.

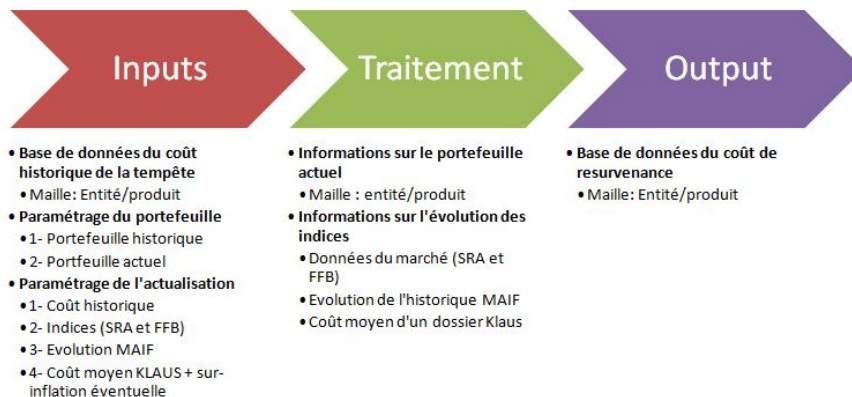


FIGURE 3.22 – Processus de l’outil de mise en As-if d’un événement

La figure suivante illustre les paramètres à la main de l'utilisateur dans le cadre d'une analyse en As-if. Les cellules en fond vert sont celles paramétrables et mettent à jour automatiquement les valeurs associées.

PARAMETRAGE HYPOTHESES AS-IF				
	Année	Trimestre		
Année de survenance	1999	4		
Année de resurvenance	2013	4		
Sur-inflation lié à une tempête	10%			
		MAIF PP	MAIF A&C	FILIA
EFFET COUT RAQVAM + NOR tempête :	2- Indice FFB	62,31%	62,31%	62,31%
EFFET COUT VAM tempête :	3- Evolution MAIF	39,84%	39,84%	39,84%
EFFET COUT NAUTIS :	1- Coût historique	0,00%	0,00%	0,00%
SRA Répartition du coût suivant le poste de réparation :		1-main d'oeuvre	42,4%	
		2-pièces de rechange	47,3%	
		3-peinture	10,3%	
		MAIF PP	MAIF A&C	FILIA
EFFET PARC RAQVAM + NOR:	2- Portefeuille actuel	15,51%	63,19%	100,11%
EFFET PARC VAM :	2- Portefeuille actuel	9,10%	74,28%	78,19%
EFFET PARC NAUTIS :	2- Portefeuille actuel	10,19%	10,19%	168,58%

FIGURE 3.23 – Paramétrage de l’analyse en As-if

Dans le premier tableau, l'utilisateur renseigne l'année et le trimestre de survenance de l'événement ainsi que la période de mise en As-if. Alors que le second concerne l'éventuel taux de sur-inflation, le troisième tableau se rapporte aux hypothèses d'actualisation. Dans une liste déroulante, l'utilisateur choisit entre les hypothèses suivantes :

- Coût historique (pas d'actualisation) ;

- Indices FFB et SRA ;
- Évolution MAIF (à partir de l'historique MAIF des phénomènes naturels) ;
- Coût Moyen KLAUS + Évolution MAIF + Sur inflation.

Le tableau suivant renseigne les clés de ventilation entre les différents postes de réparation automobile (cf figure 3.17). Pour finir, le dernier tableau concerne quant à lui les hypothèses d'évolution du portefeuille. L'utilisateur a le choix entre deux hypothèses :

- Portefeuille historique (pas d'évolution du portefeuille) ;
- Portefeuille actuel.

Le croisement de ces paramètres avec le coût réel de l'événement permet à la MAIF d'avoir une mise en As-if de l'historique des phénomènes naturels suivant les hypothèses d'évolution retenues. Nous allons à présent nous appuyer sur ces actualisations des charges passées afin de les comparer avec celles issues de la modélisation stochastique.

3.3.4 Analyse des résultats de la modélisation stochastique au regard de l'historique

La modélisation stochastique se base sur des événements qui ne sont jamais survenus, par conséquent il est difficile de savoir à quel point ce modèle est représentatif de la réalité. À cet effet, nous souhaitons juger la robustesse de la modélisation stochastique en comparant les charges prédites avec celles présentes dans l'historique MAIF. Nous allons nous intéresser aux périls tempête, grêle et inondation. Les tremblements de terre sont des événements ayant une faible fréquence de survenance en France, ainsi la MAIF ne dispose pas d'un historique suffisamment important pour réaliser une étude.

De manière générale, l'historique des périls naturels de la MAIF repose sur un nombre d'années relativement faible. Ainsi, la comparaison des charges issues de la modélisation stochastique avec celles présentes dans l'historique MAIF permet de juger la cohérence globale des modèles. Par ailleurs, soulignons que la taille de l'historique est différente suivant le péril concerné. Ceci est la conséquence de la gestion des recompositions de l'historique à la MAIF.

Tempête

L'étude descriptive portant sur l'historique des tempêtes repose sur une période de 1984 à 2013, soit 30 années d'historique. Comme présenté dans la sous-section 3.3.2, nous avons réalisé une étude en As-if dans le but d'avoir un contexte économique comparable avec celui de la modélisation stochastique, le contexte actuel. Ainsi, dans l'étude en As-if, nous avons tenu compte de l'évolution du portefeuille MAIF entre l'année de survenance des événements et 2013. Concernant l'actualisation des coûts, nous avons retenu l'hypothèse d'évolution selon les indices FFB et SRA car cette hypothèse a l'avantage de se baser sur des données de marchés spécialisés.

L'historique de la MAIF repose sur uniquement 30 ans, ainsi dans le cadre de la comparaison de la modélisation stochastique avec le passé, nous nous sommes appuyé sur seulement deux critères :

- La moyenne des charges annuelles ;
- La médiane des charges annuelles.

Le tableau ci-dessous illustre les écarts des charges liées aux tempêtes entre l'historique MAIF et la modélisation stochastique.

Tempête: Rapport entre l'historique MAIF et les charges estimées par le modèle			
Période	1984-2013	1994-2013	2004-2013
Moyenne	1,02	1,14	0,59
Médiane	0,86	0,97	0,64

FIGURE 3.24 – Charges liées aux tempêtes, rapport entre l'historique MAIF (As if à partir des indices FFB et SRA) et la modélisation stochastique

Sur la période totale de l'historique, de 1984 à 2013, nous constatons que la moyenne des charges annuelles des tempêtes est proche de celle déterminée par la modélisation stochastique (+2% par rapport au modèle probabiliste). Concernant la distribution, l'écart entre les médianes des charges annuelles est également relativement faible (-14,3%). Remarquons que sur une période plus récente comme 2004-2013, les écarts sont plus prononcés. Les charges historiques sont plus faibles que celles prédites (-41% pour la moyenne et -36% pour

la médiane). Ceci peut s'expliquer par un historique peu profond, cependant nous pouvons également souligner que cette période est moins sensible à l'incertitude liée aux taux d'actualisation.

Nous pouvons toutefois conclure que la moyenne et la médiane des charges annuelles pour les tempêtes issues de la modélisation stochastique semble être en cohérence avec l'historique MAIF. Notons cependant que ce constat peut être discuté car l'historique 1984-2013 englobe les tempêtes de 1999 dont les périodes de retour sont estimées à plusieurs décennies (environ 95 ans pour Lothar d'après AON BENFIELD [8]).

En outre, la mise en regard de la modélisation stochastique avec l'historique des tempêtes MAIF permet d'estimer les périodes de retour des principaux événements présents dans l'historique. Lothar et Martin, dont le coût pour les assureurs français est estimé à 6,9 milliard d'euros selon la FFSA [1], ont une période de retour difficilement mesurable. En 2000, lors du bilan chiffré des tempêtes de 1999 réalisé par la FFSA [9], la périodicité des tempêtes jumelles était estimée à 75 ans. Près de dix années plus tard, la FFSA a réévalué cette période de retour à 120 ans lors d'un colloque sur le changement climatique [6].

En entrecroisant la charge MAIF des événements Lothar et Martin avec la courbe OEP des tempêtes issue de la modélisation stochastique (cf figure 3.12), nous pouvons estimer la périodicité de tels phénomènes. Pour ce faire, nous avons dans un premier temps réalisé une analyse en As-if des deux tempêtes de 1999 à l'aide de l'outil présenté précédemment (sous-section 3.3.3). Trois hypothèses ont été testées :

- **Hypothèse 1** : Charges réévaluées en euros 2013 avec les indices FFB et SRA & portefeuille As-if 2013 ;
- **Hypothèse 2** : Coût moyen Klaus + actualisation tendance MAIF & portefeuille As-if 2013 ;
- **Hypothèse 3** : Coût moyen Klaus + actualisation tendance MAIF + sur-inflation (15% pour Lothar et 10% pour Martin) & portefeuille As-if 2013. Pour rappel, ces hypothèses de sur-inflation sont issues d'études de courtiers en réassurance.

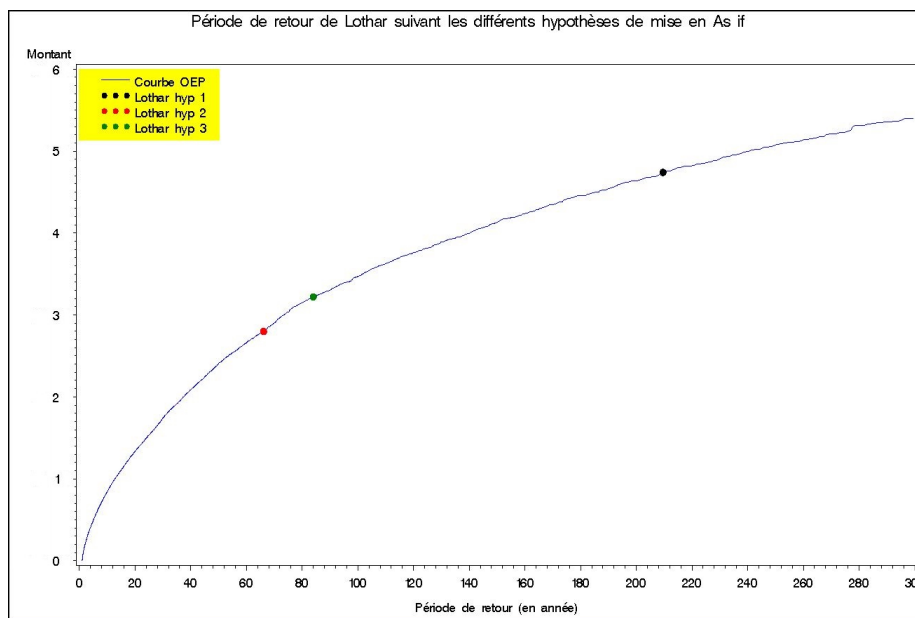


FIGURE 3.25 – Période de retour de la tempête Lothar suivant les hypothèses de mise en As-if

Selon l'hypothèse d'actualisation du coût de resurvenance de Lothar en 2013, la période de retour de cette tempête varie de manière significative. En effet, avec une indexation suivant les indices FFB et SRA, la périodicité est estimée à 209 ans. En supposant que la charge moyenne d'un dossier Lothar est la même que celle de Klaus, corrigée de l'indexation moyenne MAIF sur la période 2009-2013, la période de retour est alors estimée à moins d'un siècle (66 ans sans sur-inflation et 84 ans avec sur-inflation de 15% liée à la carence de main-d'oeuvre).

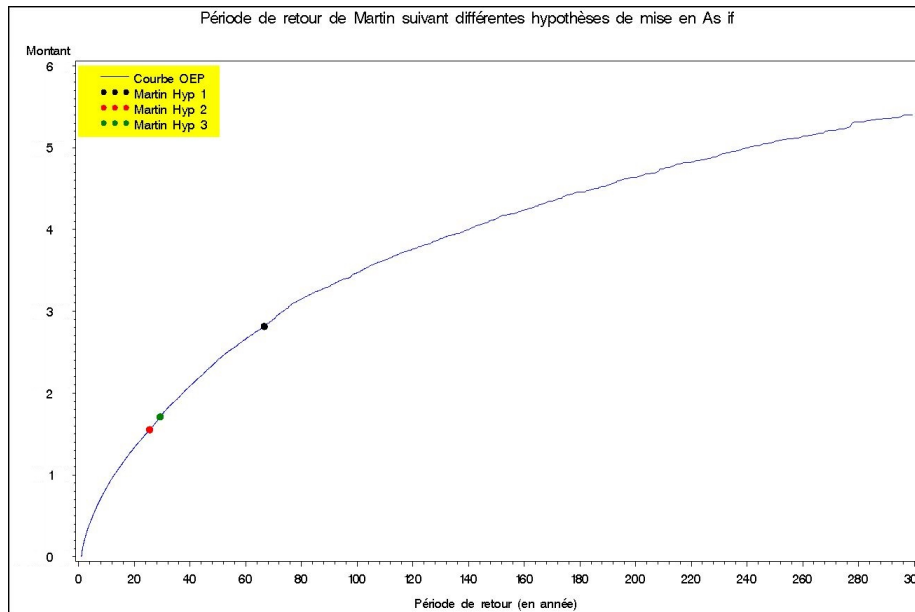


FIGURE 3.26 – Période de retour de la tempête Martin suivant les hypothèses de mise en As-if

Concernant Martin, la période de retour avec l'hypothèse 1 est estimée à 67 ans contre 26 et 29 ans pour les hypothèses respectives 2 et 3.

La question de l'hypothèse la mieux adaptée pose problème. Comme nous venons de l'observer, la charge et la période de retour d'une tempête varie de façon importante suivant l'hypothèse d'actualisation retenue. Le cabinet de courtage en réassurance *AON BENFIELD* a resimulé le montant de Lothar dans le cadre d'une conférence pour l'Institut des Actuaire sur les catastrophes dans l'ORSA [8]. Cette resimulation confère une période de retour de 95 ans à la tempête Lothar. Ainsi, parmi les trois hypothèses d'actualisation, la troisième (Coût moyen KLAUS + actualisation tendance MAIF + sur-inflation de 15% pour Lothar & portefeuille As-if 2013) est celle qui se rapproche de cette périodicité (84 ans).

Pour conclure au sujet du péril tempête, la modélisation stochastique semble être en cohérence avec les charges annuelles As-if sous l'hypothèse d'indexation suivant les indices FFB et SRA. En effet, les moyennes et médianes des charges annuelles sont relativement proches, comme le montre le tableau 3.24. Cette conclusion est toutefois à titre indicatif car l'étude connaît deux limites, à savoir un faible historique (30 ans) et une hypothèse d'indexation par les indices FFB et SRA qui semble sur-estimer la valeur actuelle des coûts.

Concernant les deux tempêtes majeures présentes dans l'historique, l'hypothèse la plus plausible au sujet de l'indexation est celle du coût moyen Klaus accompagné d'une indexation déterminée à partir de l'historique MAIF et d'une surinflation liée à la carence de main-d'oeuvre (15% pour Lothar et 10% pour Martin). Avec cette hypothèse, la période de retour de chacune des deux tempêtes est estimée respectivement à 84 et 29 ans. Ces sensibilités sont nécessaires car elles permettent à la MAIF de pouvoir estimer les périodes de retour d'événements dont elle connaît déjà les conséquences.

Grêle

L'étude descriptive portant sur l'historique MAIF des grêles repose sur une période de 19 années (de 1997 à 2013). Nous avons dans un premier temps étudié le coût des grêles passées avec une mise en As-if tenant compte de l'évolution du portefeuille et d'une indexation suivant les indices FFB et SRA. Cette hypothèse a l'avantage de s'appuyer sur des données de marchés spécialisés.

Tout comme pour le péril tempête, nous comparerons uniquement la moyenne et la médiane des charges annuelles issues de la modélisation avec celles réellement survenues lors de ces 19 dernières années. Le tableau ci-dessous illustre les écarts entre l'historique MAIF et la modélisation stochastique.

Grêle: Rapport entre l'historique MAIF et les charges estimées par le modèle stochastique	
Période	1997-2013
Moyenne	2,42
Médiane	3,28

FIGURE 3.27 – Charges liées aux grêles, rapport entre l'historique MAIF (As-if à partir des indices FFB et SRA) et la modélisation stochastique

D'après la modélisation probabiliste de la grêle (cf courbes 3.11 et 3.12), ce phénomène naturel semble avoir de faibles enjeux économiques. Cependant, à la lecture du tableau précédent, les charges historiques liées à ce péril paraissent plus importantes que celles estimées par la modélisation. En effet, la moyenne des charges historiques est 2,42 fois plus importante que celle modélisée. Même constat pour la médiane des coûts passés qui est 3,28 fois plus importante que celle issue de la modélisation.

La mise en As-if de l'historique a tendance à augmenter le montant des pertes de par l'inflation et l'évolution croissante du portefeuille MAIF. Nous allons désormais comparer les charges issues de la modélisation stochastique avec celles réellement survenues. Par conséquent, nous ne corrigerons pas les coûts historiques par une mise en As-if dans la suite de l'étude des grêles. Toutefois, nous garderons à l'esprit que ces charges réelles sont sous-estimées par rapport à leur coût de resurvenance en 2013.

Le tableau ci-dessous illustre les écarts des charges liées aux grêles entre l'historique MAIF (sans mise en As-if) et la modélisation stochastique.

Grêle: Rapport entre l'historique MAIF et les charges estimées par le modèle stochastique	
Période	1997-2013
Moyenne	1,82
Médiane	2,18

FIGURE 3.28 – Charges liées aux grêles, rapport entre l'historique MAIF (sans mise en As-if) et la modélisation stochastique

La mise en regard des charges modélisées avec celles présentes dans l'historique MAIF (non actualisées) permet de déduire que la modélisation stochastique des grêles semble être sous-estimée. En effet, la moyenne des charges annuelles est 1,82 fois plus importante dans l'historique. Même constat concernant la médiane qui est également 2,18 fois plus importante dans l'historique MAIF. De surcroît, rappelons que ces écarts seraient d'autant plus conséquents avec une mise en As-if des charges passées.

Ainsi, le modèle de génération des événements grêles ne semble pas approprié à la survenance réelle impactant le portefeuille du groupe MAIF. À la suite de cette étude, la MAIF doit se rapprocher des courtiers en réassurance afin d'échanger sur cette incohérence.

Ce constat est confirmé lorsque l'on effectue un parallèle entre la médiane des charges annuelles présentes dans l'historique avec la courbe AEP des grêles, comme en témoigne le graphique ci-dessous. En effet, alors que la médiane traduit une période de retour de 2 ans, son montant associé correspond à une périodicité de 5,2 années d'après la courbe AEP. De plus, la charge annuelle des grêles de 2013 est associée à une période de retour de 54,8 ans. Bien que 2013 a été une année particulièrement marquée par les épisodes grêleux⁶, la périodicité de retour définie par la courbe AEP semble être sur-évaluée.

6. D'après la FFSA et le GEMA[1], le coût des intempéries de grêles en 2013 est estimé à 850 millions d'euros sur le territoire français

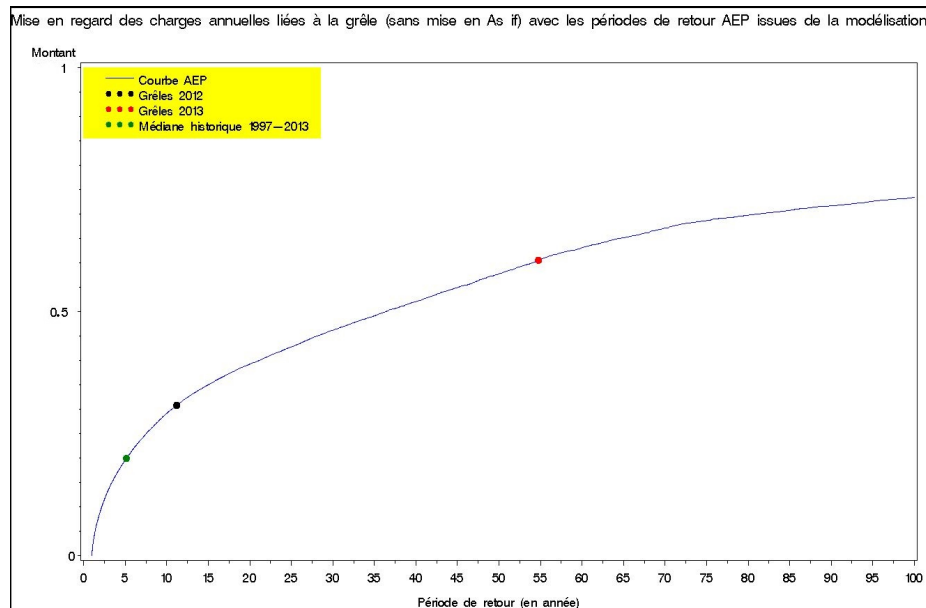


FIGURE 3.29 – Grêle : Mise en regard des charges annuelles 2012 et 2013 ainsi que la charge médiane de l'historique (sans analyse en As-if) avec les périodes de retour AEP

Pour conclure au sujet des épisodes grêleux, la modélisation stochastique ne semble pas être en cohérence avec les charges annuelles de l'historique. En effet, les charges issues du modèle probabiliste sous-estime les montants réels. De surcroît, cette étude a été réalisée sans une mise en As-if des grêles du passé. Ainsi l'écart entre les coûts de resurvenance et les charges modélisées serait d'autant plus important en tenant compte de l'inflation et de l'évolution croissante du portefeuille MAIF au cours du temps.

Inondation

L'étude descriptive portant sur l'historique des inondations repose sur une période de 1994 à 2011, soit 18 années. Dans le but de comparer les charges modélisées avec l'historique, nous avons réalisé une mise en As if tenant compte de l'évolution du portefeuille et de la progression des indices FFB et SRA. Le tableau ci-dessous illustre les écarts des charges liées aux inondations entre l'historique MAIF et la modélisation stochastique.

Inondation: Rapport entre l'historique MAIF et les charges estimées par le modèle stochastique	
Période	1994-2011
Moyenne	0,77
Médiane	2,46

FIGURE 3.30 – Charges liées aux inondations, rapport entre l'historique MAIF (As-if avec indices FFB et SRA) et la modélisation stochastique

La mise en regard de la modélisation stochastique avec le passé permet de constater que la moyenne des charges annuelles est plus faible de 23% dans l'historique. En revanche, la médiane est quant à elle 2,5 fois plus importante que celle issue de la modélisation.

Par conséquent, il est difficile de tirer des conclusions concernant la cohérence du modèle probabiliste des inondations. La MAIF ne dispose pas d'un historique suffisamment profond à cet effet.

Conclusion de l'analyse critique des modèles probabilistes

La mise en regard de l'historique MAIF permet d'évaluer la cohérence globale des modèles stochastiques avec la réalité. Cependant, l'historique des événements naturels est récent puisqu'il est composé d'une trentaine d'années dans le meilleur des cas. Il est possible qu'aucun phénomène extrême ne soit survenu au cours de ces trente dernières années. Ainsi, la comparaison des charges modélisées avec celles du passé n'est pas robuste. Elle permet cependant d'évaluer la cohérence globale des modèles probabilistes.

Pour les tempêtes, périls dont les enjeux économiques sont les plus importants d'après les statistiques descriptives exposées dans la sous-section 3.3.1, le modèle probabiliste semble être en adéquation avec la réalité. À l'inverse, la modélisation des grêles paraît sous-estimer les charges réelles. En effet, la moyenne des charges de l'historique est 1,8 fois plus importante que celle modélisée.

Concernant les inondations, il est difficile de juger la qualité de la modélisation. Même constat pour les tremblements de terre, phénomène naturel dont aucun événement majeur a été recensé dans l’historique français.

3.4 Prise en compte des risques climatiques et Cat-nat

À partir des études précédentes, la MAIF a une meilleure connaissance globale des phénomènes naturels. Malgré le fait que nous avons soulevé certaines incohérences dans la modélisation probabiliste des périls (distribution des charges liées aux inondations et coût des épisodes grêleux qui semble être sous-estimé), nous nous appuyerons sur ces modèles dans la suite du mémoire. Cependant, comme évoqué dans la section précédente, la MAIF devra se rapprocher des courtiers en réassurance pour échanger sur ces incohérences.

À partir de la connaissance globale actuelle des phénomènes naturels, la mutuelle d’assurance établit ses programmes de réassurance en fonction de son appétence au risque catastrophe. Frédéric PLANCHET et Marc JUILLARD [10] définissent l’appétence au risque comme *le niveau de risque agrégé qu’une entreprise accepte de prendre en vue de la poursuite de son activité et d’atteindre ses objectifs stratégiques*. L’appétence pour le risque Cat de la MAIF sera traitée dans le cadre du chapitre suivant.

Alors que la charge moyenne annuelle est relative au résultat technique à long terme, la distribution des charges concerne plus particulièrement la protection des fonds propres.

Dans le cadre de la maîtrise des risques climatiques et catastrophes naturelles, nous allons revenir dans un premier temps sur la tarification des garanties couvrant les phénomènes naturels avant de distinguer les notions de climatiques **récurrents** et **exceptionnels**. Cette distinction est notamment primordiale dans le suivi de la sinistralité des événements climatiques et des catastrophes naturelles.

3.4.1 Tarification des garanties couvrant les phénomènes naturels

Afin de protéger son résultat technique, les cotisations demandées aux assurés pour se couvrir contre les risques naturels doivent correspondre au coût moyen annuel des événements climatiques et Cat-nat. Pour rappel, le coût moyen annuel d'un péril est déterminé par l'équation (3.13). Dans le cadre de cette étude, nous allons supposer l'indépendance entre les différents périls. En pratique, ceci n'est pas forcément le cas comme en témoigne les inondations de 2010 après le passage de la tempête Xynthia⁷. Selon la FFSA et le GEMA, la moitié des indemnités versées par les assureurs pour Xynthia relèvent du régime Cat-nat, soit environ 1,2 milliards d'euros. Avec l'hypothèse d'indépendance entre les différents périls, la charge moyenne annuelle des phénomènes naturels est alors :

$$ChargeMoyenne_{Brute} = AAL_{tempete} + AAL_{grele} + \dots + AAL_{inondation} \quad (3.15)$$

Les dégâts causés par les phénomènes naturels varient beaucoup d'un exercice à un autre. Cette variation est liée à la fréquence et à l'intensité des événements survenus. Ainsi, afin de se couvrir contre cette volatilité, les sociétés d'assurances ont recours à la réassurance. Pour la cédante, les charges L liées aux garanties couvrant les phénomènes naturels sont :

$$L = PrimeReassurance + ChargesNettes + FraisGeneraux \quad (3.16)$$

Avec

$$PrimeReassurance = ChargeMoyenne_{Cedee} \times (1 + \pi_1) \quad (3.17)$$

π_1 correspond au taux de chargement couvrant les frais de gestion du réassureur.

Et

$$ChargesNettes = ChargesBrutes - ChargesCedees \quad (3.18)$$

⁷ Tempête frappant la France d'ouest en est fin février 2010. Selon la FFSA et le GEMA, Xynthia a fait 53 morts et 79 blessés en France. Le montant des dommages au 31 décembre 2010 était estimé à 2,5 milliards d'euros pour le marché français.

La tarification des garanties couvrant les phénomènes naturels correspond à la moyenne des charges de la cédante, ainsi on a le tarif des garanties déterminé par :

$$Tarif = E(L) = PrimeReassurance + ChargeMoyenne_{Nette} + FraisGeneraux \quad (3.19)$$

Avec

$$ChargeMoyenne_{Nette} = ChargeMoyenne_{Brute} - ChargeMoyenne_{Cedee} \quad (3.20)$$

En intégrant les équations (3.17) et (3.20) dans (3.19), nous avons la formule suivante :

$$Tarif = ChargeMoyenne_{Brute} + \pi_1 \times ChargeMoyenne_{Cedee} + FraisGeneraux \quad (3.21)$$

Le tarif déterminé par l'équation (3.21) correspond à l'ensemble des cotisations que la MAIF doit demander à ses assurés pour couvrir les dégâts liés aux phénomènes naturels. La tarification d'un risque dépend de plusieurs critères tarifaires qui ne font pas l'objet de cette étude, on retrouve notamment la zone géographique et le type de bien. Soit m le nombre de risques tenant compte de l'exposition annuelle, $\forall j=1, \dots, m$ on a :

$$\sum_{j=1}^m Tarif_j = Tarif \quad (3.22)$$

À la clôture annuelle des comptes, la charge des phénomènes naturels est plus ou moins importante selon les événements survenus lors de l'exercice. Le résultat technique est positif si on a :

$$ChargesNettes + FraisGeneraux < Tarif - PrimeReassurance \quad (3.23)$$

En revanche, le résultat est déficitaire si on a :

$$ChargesNettes + FraisGeneraux > Tarif - PrimeReassurance \quad (3.24)$$

Suivant le montant de la charge nette des événements climatiques à la fin de

l'année, une ristourne des excédents ou un rappel de cotisations peut être réalisé auprès des sociétaires. Ce mécanisme, purement mutualiste, a notamment permis à la MAIF d'effectuer un rappel de cotisations alimentant les comptes de l'an 2000. En effet, les tempêtes Lothar et Martin de décembre 1999 ont provoqué un résultat technique largement déficitaire. La MAIF a ainsi récupéré 349M de francs, soit 53M d'euros, grâce au rappel de cotisations en 2000.

À la clôture annuelle des comptes, la MAIF réalise des analyses a posteriori afin d'expliquer le résultat technique en fonction des événements naturels survenus. Un résultat déficitaire peut être provoqué par un pic de fréquence des phénomènes naturels comme en 2013 avec de nombreuses grêles, inondations et tempêtes ou par la survenance de quelques événements à intensité extrême comme en 1999 avec Lothar et Martin. Ainsi, pour chaque phénomène naturel survenu, la MAIF souhaite qualifier l'événement soit de **récurrent** soit d'**exceptionnel**.

3.4.2 Événement récurrent ou exceptionnel ?

Une année avec un important déficit lié aux sinistres climatiques et Catnat peut être la conséquence d'un pic de fréquence ou d'un pic de coût. Dans ce cadre, la MAIF souhaite distinguer un événement **exceptionnel** d'un événement **récurrent**. Alors que les pics de coût permettent de faire une analyse des programmes de réassurance, les climatiques récurrents sont censés ne pas faire intervenir la réassurance, à l'exception du traité Aggregate sur rétention. Dans le cas d'événements récurrents, l'assuré porte le risque à travers la tarification des garanties ou le niveau de franchise du contrat.

Dans cet optique, nous avons mis en place une méthodologie permettant de distinguer un événement récurrent d'un événement exceptionnel.

La qualification d'un événement comme étant *récurrent* ou *exceptionnel* est une chose très arbitraire. En effet, il est difficile de savoir à partir de quel montant une tempête est dite exceptionnelle par exemple. Ainsi, nous proposons de poser une définition interne à la MAIF permettant de juger de la caractéristique d'un événement. À cet effet, nous nous appuyons en premier lieu sur les périodes de retour de chaque péril (cf figure 3.12). Au cours d'échanges avec les responsables, nous avons posé la définition suivante : *Un événement exceptionnel est un événement dont la charge associée a une période de retour d'au moins 5*

ans d'après la courbe OEP correspondante (cf figure 3.12). Le corollaire associé nous informe qu'**un événement récurrent** est un événement dont la charge associée a une période de retour de moins de 5 ans d'après la courbe OEP correspondante.

Ainsi, d'après la courbe 3.12, la charge associée à une tempête ayant une période de retour de 5 ans est de 0,49.

- Si une tempête a une charge $< 0,49$, alors elle est considérée comme étant *récurrente*.
- Si au contraire une tempête a une charge $> 0,49$, alors elle est considérée comme étant *exceptionnelle*.

À partir de ces définitions internes à la MAIF, une analyse du résultat technique a posteriori peut être réalisée. Cette analyse permettra notamment d'expliquer un déficit par la survenance d'un événement exceptionnel par exemple ou par la survenance de plusieurs événements récurrents.

Par ailleurs, dans le cadre de dossiers prévisionnels à court et moyen terme, la distinction de ces événements permet à la MAIF d'allouer des enveloppes respectives aux deux catégories. Dans une vision à court terme, la MAIF réalise chaque trimestre le Compte de Résultat Prévisionnel (CRP) de la société. Ce dossier est une simulation de certains états de l'arrêté des comptes. Enfin, dans une vision à moyen terme, nous nous intéresserons aux risques climatiques et Cat-nat dans le cadre de l'élaboration du Business Plan (BP) de la société sur un horizon de 5 ans.

Nous allons dans un premier temps présenter la méthodologie de la constitution des enveloppes. Puis nous nous intéresserons à l'allocation de ces enveloppes en fonction du dossier prévisionnel étudié.

Enveloppe récurrente

L'enveloppe des événements récurrents est proposée comme étant la charge moyenne de ces événements. Soit X la charge d'un événement et θ le coût associé à une périodicité de 5 ans, alors nous avons :

$$EnveloppeRecurrente = E(X | X < \theta) \quad (3.25)$$

Enveloppe exceptionnelle

L'enveloppe des événements exceptionnels est déterminée par :

$$EnveloppeExceptionnelle = E(X) - E(X | X < \theta) \quad (3.26)$$

Quelles enveloppes pour quel dossier prévisionnel ?

Dans le cadre des dossiers prévisionnels, nous allons nous intéresser au Compte de Résultat Prévisionnel (CRP) et au Business Plan (BP). Alors que le premier est une vision à court terme (moins d'1 an), le second est une vision de l'entreprise sur le moyen terme (horizon 5 ans). Compte tenu des horizons différents, les enveloppes récurrentes et exceptionnelles liées aux phénomènes naturels peuvent varier.

Enveloppes pour le CRP Chaque trimestre, le CRP est réalisé afin de prévoir les états comptables de la fin de l'exercice en cours. Dans ce dossier, nous retrouvons notamment des postes de dépenses liés aux phénomènes naturels. Pour les événements *récurrents*, l'enveloppe proposée par péril est celle déterminée à l'aide de la méthodologie exposée ci-dessus. Lorsqu'un événement survenu est considéré comme étant *récurrent*, alors une partie de l'enveloppe correspondante est consommée, voire réévaluée.

Le CRP étant une vision à court terme (moins d'1 an), aucune enveloppe *exceptionnelle* est allouée. Cependant, des sensibilités comme le coût d'une tempête à une période de retour de 5 ans sont renseignées. Si un événement *exceptionnel* survient, alors une enveloppe correspondant à sa charge est intégrée dans le dossier.

Enveloppes pour le BP Dans le cadre de la projection d'évolution de l'entreprise sur un horizon de 5 années, nous retrouvons également des charges prévisionnelles liées aux phénomènes naturels. Dans ce dossier, les enveloppes *récurrentes* et *exceptionnelles* sont déterminées à l'aide de la méthodologie exposée précédemment.

La fréquence et la charge des phénomènes naturels peuvent évoluer au cours du temps. Ces évolutions peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs comme par exemple le réchauffement climatique ou le déplacement géographique des assurés. Dans le cadre de l'ORSA, la réforme Solvabilité 2 impose aux sociétés

d'assurance un suivi de ses risques et notamment du risque Cat. Alors que pour certains facteurs, le suivi est facilement réalisable, pour d'autres il peut être très complexe. Par exemple, il est difficile de mesurer l'impact à court terme du réchauffement climatique sur la sinistralité catastrophe. Pour les facteurs qui le permettent, le suivi doit être réalisé à partir d'indicateurs régulièrement mis à jour. Par ailleurs, des procédures à suivre doivent être respectées en cas d'évolution significative du risque Cat.

Chapitre 4

Solvabilité 2 et appétence au risque catastrophe

La directive Solvabilité II et plus particulièrement l'ORSA impose notamment aux assureurs une évaluation et un suivi permanent des risques. Dans le cadre de ce mémoire, nous allons nous intéresser à l'appétence au risque catastrophe. À cet effet, nous allons dans un premier temps revenir sur la description générale de Solvabilité 2 et de l'ORSA. Ensuite, nous exposerons différentes mesures de risque sur lesquelles nous nous appuyerons dans un troisième temps afin d'évaluer la tolérance au risque Cat.

4.1 Description générale de Solvabilité 2 et de l'ORSA

4.1.1 Solvabilité 2

Solvabilité 2 est une réforme réglementaire européenne pour le monde de l'assurance votée en avril 2009. Son objectif est de mieux adapter les fonds propres exigés des compagnies d'assurance et de réassurance avec les risques que celles-ci encourent dans leur activité. Pour cela, Solvabilité 2 repose sur trois piliers.

Le premier pilier a pour objectif de définir les normes quantitatives de calcul des provisions techniques et fonds propres. Ces niveaux réglementaires sont définis pour les fonds propres avec :

- Le MCR (Minimum Capital Requirement) représentant le niveau minimum de fonds propres en dessous duquel l'intervention de l'ACPR¹ sera automatique. Son calcul est volontairement simplifié pour obtenir un seuil le plus robuste possible.
- Le SCR (Solvency Capital Requirement) est basé sur l'exposition aux risques et représente le capital cible nécessaire permettant d'éviter la ruine dans 99,5% des cas. De plus, le SCR incorpore tous les risques liés à l'activité de la compagnie.

Le calcul du SCR repose sur une formule standard ou sur un modèle interne propre à chaque organisme d'assurance. L'approche de la formule standard est définie à partir de plusieurs calibrages : les QIS (Quantitative Impact Studies). Il est possible que l'ACPR impose un capital add-on si elle estime que la société sous-estime son SCR. Concernant le modèle interne, sa mise en oeuvre exige des démarches plus complexes et plus coûteuses que pour la formule standard. En effet, les entreprises ayant opté pour le modèle interne devront le faire valider dans un premier temps auprès de l'ACPR avant son utilisation effective pour estimer le SCR réglementaire. En revanche, étant plus adapté aux risques propres de la société, le modèle interne propose une meilleure maîtrise de l'activité de la société que la formule standard.

Le deuxième pilier prévoit de compléter les exigences quantitatives de fonds propres par des exigences qualitatives et de suivi des risques en interne dans les sociétés. En effet, les compagnies doivent s'assurer qu'elles sont bien gérées et en mesure de calculer et maîtriser leurs risques. L'évaluation interne des risques et de la solvabilité est appelé l'ORSA (Own Risk and Solvency Assessment). L'ORSA est la pièce maîtresse de ce dispositif.

Le troisième pilier a pour objectif de définir l'ensemble des informations détaillées que les autorités de contrôle jugeront nécessaires pour exercer leur pouvoir de surveillance. Ces informations seront reportées au travers d'états quantitatifs (QRT) et commentées dans des rapports qualitatifs comme le SFCR (Solvency & Financial Condition Report) et le RSR (Regular Supervisory Report).

A noter que les travaux du pilier 1 sont indissociables des autres piliers : ces

1. Autorité de Contrôle Prudenciel et de Résolution

chantiers doivent donc s'inscrire dans l'ensemble du dispositif Solvabilité 2 pour permettre de répondre de manière adéquate aux exigences de la réforme.

4.1.2 ORSA

Les articles de Solvabilité II faisant référence à l'ORSA sont les articles 45, 246 et 120. Extrait de l'article 45 de la directive : *As part of its risk-management system every insurance undertaking and reinsurance undertaking shall conduct its own risk and solvency assessment. That assessment shall include at least the following :*

- *The overall solvency needs taking into account the specific risk profile, approved risk tolerance limits and the business strategy of the undertaking ;*
- *the compliance, on a continuous basis, with the capital requirements, and with the requirements regarding technical provisions ;*
- *the significance with which the risk profile of the undertaking concerned deviates from the assumptions underlying the Solvency Capital Requirement.*

L'ORSA est un processus essentiellement prospectif [11] dans lequel il est demandé aux assureurs, via l'article 45, de procéder à 3 évaluations :

- Évaluation du besoin global de solvabilité ;
- Évaluation du respect permanent des obligations réglementaires concernant la couverture du SCR, du MCR et des exigences concernant le calcul des provisions techniques ;
- Évaluation de la mesure dans laquelle le profil de risque de l'organisme s'écarte des hypothèses qui sous-tendent le calcul du SCR.

Dans le cadre de l'évaluation du respect permanent des obligations, des évaluations prospectives doivent être réalisées. D'après l'ACPR [11], ces évaluations prennent en compte les changements potentiels importants du profil de risque et la qualité des fonds propres mis en regard du SCR et du MCR sur l'ensemble de la période considérée. À cet égard, nous allons nous intéresser dans ce mémoire au profil de risque Cat pour lequel nous définirons une tolérance de risque. Pour cela, nous allons nous appuyer sur des mesures de risque.

4.2 Mesures de risque

La réforme Solvabilité 2 impose aux assureurs et réassureurs de mesurer leurs risques. À cet effet, plusieurs mesures peuvent être utilisées. Celle qui sera retenue doit être intuitive, facile à calculer et cohérente. D'après Philippe ARTZNER, Freddy DELBAEN, Jean-Marc EBER et David HEATH [12], une mesure est cohérente si elle satisfait plusieurs propriétés.

Soit X_1 et X_2 deux positions de risques. La mesure de risque $\rho(\cdot)$ est considérée comme cohérente si elle satisfait les quatre axiomes suivants :

- **Invariance par translation** : $\rho(X_1 + \alpha) = \rho(X_1) + \alpha$ pour tout nombre réel α
- **Sous-additivité** : $\rho(X_1 + X_2) \leq \rho(X_1) + \rho(X_2)$
- **Homogénéité positive** : $\rho(\lambda X_1) = \lambda \rho(X_1)$ pour tout $\lambda > 0$
- **Monotonie** : si $X_1 \leq X_2$ alors $\rho(X_1) \leq \rho(X_2)$

L'axiome d'invariance par translation indique que l'addition d'un montant réel α à la distribution des pertes modifie le risque précisément de ce montant.

L'axiome de sous-additivité nous informe que le risque global d'un portefeuille est inférieur ou égal à la somme de l'ensemble des risques qui le compose.

L'axiome d'homogénéité positive indique que le risque s'accroît linéairement avec la position du risque.

L'axiome de monotonie formalise le fait que si les résultats du risque X_1 sont toujours inférieurs ou égaux à ceux de X_2 , alors l'exigence de capital pour X_1 doit être inférieure à celle pour X_2 .

Dans le cadre de son mémoire d'actuariat, Xavier AGENOS [13] revient sur le choix de la mesure de risque. Dans la suite de cette section, nous allons nous appuyer sur ses travaux afin de présenter certaines d'entre elles.

4.2.1 Value at Risk

La Value at Risk (VaR) étant une mesure simple et intuitive, elle est très utilisée dans le monde de la finance, aussi bien par les banques que par les

compagnies d'assurance. La VaR au niveau de confiance α est simplement le quantile q_α de la distribution de perte, c'est-à-dire le montant de perte qui ne sera dépassé que dans $(1 - \alpha)$ des cas :

$$VaR_\alpha(X) = F_X^{-1}(\alpha)$$

Par exemple, si la VaR est mesurée sur une période d'un an avec un seuil de 99,5%, alors les pertes associées ne seront dépassées qu'une fois tous les 200 ans.

La Value at Risk n'est pas une mesure cohérente de risque car elle ne respecte pas la propriété de sous-additivité. En effet, si on considère deux risques X_1 et X_2 pour lesquels on estime la VaR à un horizon d'un an, alors l'axiome suivant n'est pas toujours vérifié :

$$VaR_{X_1+X_2}(\alpha) \leq VaR_{X_1}(\alpha) + VaR_{X_2}(\alpha)$$

De plus, la VaR ne donne pas d'informations sur la sévérité des pertes au delà du seuil α . Cependant, du fait de son intelligibilité et sa facilité de calcul, elle reste la mesure de risque la plus adoptée par les assureurs.

4.2.2 Tail Value at Risk

Contrairement à la VaR, la Tail Value at Risk (TVaR) est une mesure cohérente. La TVaR est la moyenne des pertes excédant le quantile choisi. Dans le cas d'une distribution continue, elle est formulée de la façon suivante :

$$TVaR_\alpha = \frac{1}{1 - \alpha} \int_\alpha^1 VaR_\alpha(X) dF_X$$

Le risque est appréhendé par l'espérance, ainsi la TVaR est sensible à la forme de la queue de distribution (TVaR importante avec une queue de distribution lourde).

4.2.3 Probabilité de ruine

En actuariat, la ruine est engendrée par une perte supérieure aux fonds propres de l'assureur, rendant ainsi ce dernier insolvable. Soit R le résultat d'un exercice et FP les fonds propres de la société, alors la probabilité de ruine est

définie par :

$$ProbabiliteRuine = P(FP + R \leq 0)$$

Soulignons que cette mesure peut être insuffisante puisqu'elle ne donne pas d'indication sur le montant des pertes.

4.2.4 Expected Policyholder Deficit

L'Expected Policyholder Deficit (EPD) mesure l'insolvabilité du point de vue des assurés, c'est-à-dire le montant moyen des pertes qui ne peuvent être payées par l'assureur en cas de défaut. Soit S le surplus économique d'une compagnie d'assurance tel que $S = Actifs - Passifs$, alors l'EPD est formulée de la manière suivante :

$$EPD = \int_{-\infty}^0 (-S) dF_S$$

D'autres mesures de risque comme celles basées sur les moments existent. Dans le cadre de la gestion stratégique du risque catastrophe, nous allons utiliser certaines mesures exposées précédemment.

4.3 Gestion stratégique du risque catastrophe

4.3.1 Appétit pour le risque catastrophe

Selon Frédéric PLANCHET et Marc JUILLARD [10], l'appétence au risque est défini comme *le niveau de risque agrégé qu'une entreprise accepte de prendre en vue de la poursuite de son activité et d'atteindre ses objectifs stratégiques*. À partir d'une appétence au risque clairement mesurée, la compagnie d'assurance va pouvoir rechercher des stratégies optimales tout en respectant sa tolérance vis-à-vis du risque. Pour ce faire, elle devra contruire des indicateurs de rentabilité et de risque. Ces indicateurs composent une fonction "objectif" de l'entreprise. Dans le cadre de son mémoire d'actuariat, Xavier AGENOS [13] définit cette fonction comme *un ensemble de mesures quantitatives déterminant le profil valeur/risque de la compagnie d'assurance*.

Pour définir l'appétence au risque d'une entreprise, différents choix doivent s'opérer. On y retrouve notamment des choix concernant :

- La dimension de risque ;
- Les seuils de probabilité ;

- Les mesures de l'appétit pour le risque.

Choix de la dimension de risque

Plusieurs parties prenantes sont concernées par l'appétence au risque. Alors que l'actionnaire voudra protéger le résultat et la valeur de l'entreprise, le régulateur et les assurés souhaiteront quant à eux protéger la solvabilité. Ainsi, différentes dimensions de risque doivent être prises en compte. Le poids accordé à chacune d'entre elles sera influencé par l'ensemble des parties prenantes. La MAIF étant une mutuelle d'assurance non vie, il n'y a pas d'actionnaires. Les éventuels bénéfices sont redistribués aux assurés comme évoqué dans la sous-section 3.4.1. Le tableau ci-dessous, issu du mémoire de Xavier AGENOS [13], représente les différentes dimensions de risque ainsi que les parties prenantes concernées.

Dimensions	Parties prenantes concernées
Résultats	Actionnaires / Agences de rating (ds une moindre mesure)
Valeur de l'entreprise	Actionnaires
Solvabilité	Assurés / Régulateurs / Agences de Rating
Capacité de rbt des créanciers	Agences de rating / Créanciers obligataires
Liquidité	Toutes
Réputation	Actionnaires

FIGURE 4.1 – Dimensions de risque et parties prenantes concernées. Tableau extrait du mémoire de Xavier AGENOS.

Choix du seuil de probabilité

Selon les différentes dimensions retenues pour l'appétit au risque, le choix du niveau de probabilité peut varier. Alors que certaines parties prenantes comme les actionnaires seront plus concernées par la volatilité autour du résultat moyen, d'autres s'intéresseront plus particulièrement aux risques extrêmes dans le but de maintenir la solvabilité.

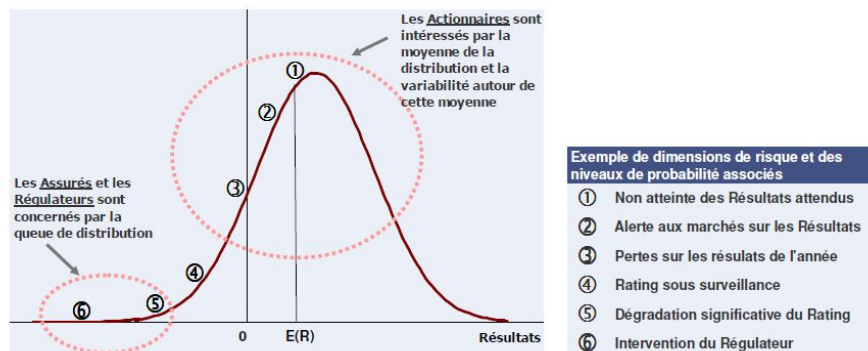


FIGURE 4.2 – Seuil de probabilité selon les parties prenantes. Figure extraite du mémoire de Xavier AGENOS.

Choix de la mesure de l'appétit pour le risque

Après avoir fixé la dimension et le seuil de probabilité, il convient ensuite de choisir une mesure de risque permettant de fournir un indicateur. Notons qu'il existe de multiples mesures pour une même dimension. L'intelligibilité de la mesure de risque est primordiale pour le choix de cette dernière. Ainsi, la mesure doit être simple afin d'être comprise par tous. Le tableau ci-dessous, issu du mémoire d'actuariat de Xavier AGENOS, donne un exemple de mesures de risque pour la dimension solvabilité.

Dimension : SOLVABILITE				
Thématique	Exemple de seuils de tolérance	Type de Mesure	Exemple de Probabilité (x)	Exemple d' Horizon (n)
Solvabilité Réglementaire	La probabilité de rester au dessus des exigences de solvabilité réglementaire est de $x\%$ à l'horizon d'un an.	Marge Solva (S1) SCR ou MCR (S2)	99,5%	1 an
	Le Capital Eligible sera supérieur à 150% du Capital Requis dans au moins $x\%$ des cas à l'horizon d'un an	$\frac{\text{Capital Eligible}}{\text{Capital Requis}}$	95,0%	1 an

FIGURE 4.3 – Exemple de mesures de risque pour la dimension solvabilité. Tableau extrait du mémoire de Xavier AGENOS.

Tolérance au risque

L'appétence concerne un niveau agrégé des risques d'une entreprise. Cependant, il est nécessaire de traduire la politique d'appétence à chacun des facteurs de risque de la formule standard, on parle alors de tolérance de risque. Frédéric PLANCHET et Marc JUILLARD [10] définissent la tolérance de risque comme *le niveau maximal de risque qui peut être pris sur un profil de risque*. La méthode

d'allocation du risque global sous la forme de catégories de risque est un exercice particulièrement complexe.

Dans le cadre de ce mémoire, nous ne traiterons pas la question de l'allocation du risque global entre les différents risques de la compagnie d'assurance. Nous développerons ici uniquement la tolérance au risque Cat. La première dimension choisie à cet effet découle du pilier 1 de la réforme Solvabilité 2 puisqu'il s'agit de la dimension solvabilité. La deuxième contrainte concerne quant à elle le budget de réassurance. Les deux limites de risque retenues dans le cadre de la tolérance au risque Cat sont les suivantes :

- **La probabilité de consommer plus de 100% des fonds propres alloués devra être inférieure à 10%.**
- **Le coût du programme de réassurance représente moins de 15% des fonds propres alloués.**

Ces contraintes ont été fixées arbitrairement dans le but de percevoir les implications d'une appétence. Toutefois, la première concerne la solvabilité, une dimension de risque à prendre en compte pour les sociétés d'assurance. La seconde contrainte est également en adéquation avec une stratégie d'entreprise puisque les assureurs devront fixer une enveloppe maximale pour se réassurer. Notons que le seuil de probabilité pour la dimension solvabilité peut sembler élevé. Cependant, il faut garder à l'esprit que nous étudions uniquement le profil de risque Cat, et non le risque global de la société.

La tolérance pour le risque Cat étant clairement mesurée, la compagnie d'assurance connaît jusqu'où elle peut aller en termes de prise de risque. Elle peut désormais rechercher des stratégies optimales tout en respectant la tolérance. Plusieurs stratégies peuvent alors être testées. Cependant, nous nous intéresserons ici uniquement à la stratégie de réassurance, levier important pour la maîtrise du risque catastrophe.

Soulignons que par souci de confidentialité, l'ensemble des chiffres présentés dans les sections suivantes ont été modifiés.

4.3.2 Évaluation de différentes stratégies de réassurance

Les contraintes étant posées, nous allons à présent évaluer quatre stratégies de réassurance afin de tester leur tolérance au risque Cat. À cet égard, nous allons nous appuyer sur la recomposition des charges brutes simulées à partir des modèles probabilistes (cf section 3.2). Dans le cadre de cette étude, nous avons posé plusieurs hypothèses dont les valeurs ne correspondent pas à la réalité par souci de confidentialité :

1. Le risque Cat correspond uniquement au péril tempête. La prise en compte de l'ensemble des périls est complexe car des corrélations entre ces derniers peuvent exister. Par exemple, les inondations sont certainement corrélées avec les tempêtes comme en témoigne l'événement Xynthia en 2010. Ainsi, nous allons dans un premier temps nous intéresser uniquement aux tempêtes, qui est le plus gros enjeu économique des phénomènes naturels. Cependant, la MAIF devra poursuivre ces travaux en tenant compte de l'ensemble des périls concernés.
2. Quel que soit le programme de réassurance, le réassureur souhaite avoir un ratio moyen $\frac{\text{Sinistres}}{\text{Primes}} = 0,75$. Par conséquent, nous ne tenons pas compte d'une éventuelle rémunération liée à la prise de risque du réassureur en fonction de la couverture retenue.
3. Les cotisations encaissées par l'assureur pour se couvrir contre les phénomènes naturels sont définies par l'équation suivante :

$$\text{Cotisations} = \text{PrimeReassurance} + \text{MoyenneChargesNettes}$$

Ainsi, la tarification est établie afin d'avoir en moyenne un résultat net nul. Nous ne prenons pas en compte ici les frais de gestion de la MAIF car nous estimons qu'ils sont sans impact sur les mécanismes en oeuvre pour estimer les implications de la fixation d'une appétence sur le risque Cat. Soulignons que la prime de réassurance peut aussi être appelée la cotisation cédée.

4. D'après la formule standard, la charge brute d'une tempête ayant une période de retour de 200 ans est de **470M** d'euros.
5. Les capitaux disponibles alloués au risque Cat en début d'exercice sont de **125M**.
6. Quatre programmes de réassurance testés :

- Option 1, stratégie de base : **400M XS 80M** ;
- Option 2, augmentation de la garantie : **600M XS 80M** ;
- Option 3, diminution de la priorité : **400M XS 55M** ;
- Option 4, combinaison des options 2 et 3 : **600M XS 55M**.

À partir des 100 000 simulations de charges brutes liées aux tempêtes, nous allons dans un premier temps appliquer les différents traités de réassurance par événement afin d'estimer les charges nettes. Nous déduirons ensuite les fonds propres libres à la fin de chaque année simulée, ainsi que la part du budget de réassurance sur le capital disponible.

Fonds propres libres

Le niveau des fonds propres libres à la fin d'un exercice comptable est estimé par la formule suivante :

$$FPLibres_{t=1} = FP_{t=1} - SCR_{Cat} \quad (4.1)$$

Avec

$$FP_{t=1} = FP_{t=0} + ResultatNet \quad (4.2)$$

Le résultat net est déterminé par la formule ci-dessous :

$$ResultatNet = CotisationsEncaissees - PrimeReassurance - ChargeNette \quad (4.3)$$

Par ailleurs, le SCR_{Cat} correspond à la charge nette d'une tempête avec une période de retour de 200 ans d'après la formule standard. Ainsi, le SCR_{Cat} varie en fonction du programme de réassurance retenu comme en témoigne le tableau suivant.

	Charge brute d'après la formule standard	Charge Cédée	SCR Cat
Option 1	470M	390M	80M
Option 2	470M	390M	80M
Option 3	470M	400M	70M
Option 4	470M	415M	55M

FIGURE 4.4 – SCR Cat selon le programme de réassurance retenu

Comme attendu, plus la société d'assurance se couvre auprès d'un réassureur pour son risque catastrophe, moins le niveau de SCR_{Cat} est élevé. Ainsi, le SCR_{Cat} pour l'option 1 vaut 80M alors qu'avec l'option 4 il en vaut 25M de moins. Notons également qu'avec un capital alloué au risque Cat de 125M, le SCR_{Cat} est couvert à 156% avec les deux premières options, et respectivement à 179% et 227% avec les options 3 et 4. Cependant, nous ne tenons pas compte pour le moment du coût de la réassurance et des cotisations encaissées.

D'après l'hypothèse 2, la prime de réassurance est proportionnelle à la moyenne des charges cédées. Ainsi, nous devons dans un premier temps estimer ce montant moyen à partir des 100 000 simulations. Pour ce faire, il faut au-préalable calculer la charge cédée par année en fonction des événements survenus. Le tableau ci-dessous illustre la méthode de calcul des charges cédées annuellement en fonction du programme de réassurance.

Année	Tempête	Charge Brute	Charge cédée avec option 1	Charge cédée avec option 2
1	1	50M	0	0
1	2	90M	10M	10M
1	3	500M	400M	420M
Total année 1		640M	410M	430M

FIGURE 4.5 – Charge cédée pour la première année simulée

Sur la base des 100 000 simulations et de l'hypothèse 2 (ratio $\frac{Sinistres}{Primes} = 0,75$), nous pouvons déterminer la moyenne des charges cédées ainsi que la prime

de réassurance suivant la stratégie retenue. Le tableau ci-dessous renseigne les primes de réassurance en fonction de la couverture adoptée.

	Moyenne des charges cédées	Prime de réassurance
Option 1	9,96M	13,28M
Option 2	10,53M	14,04M
Option 3	13,56M	18,07M
Option 4	14,21M	18,94M

FIGURE 4.6 – Prime de réassurance suivant le programme de réassurance retenu

Comme attendu, on constate que la prime de réassurance est moins élevée avec une couverture plus faible (13,28M pour l'option 1 contre 18,94M avec l'option 4). Soulignons que la stratégie 3 exige une prime de réassurance plus importante qu'avec la stratégie 2 (4,03M de plus avec l'option 3). Ainsi, nous pouvons en déduire qu'en moyenne nous cédon plus de charges en baissant la priorité du traité de 25M qu'en augmentant la portée de 200M.

À partir de l'hypothèse 3 et de la moyenne des charges nettes, nous pouvons de la même façon déterminer la cotisation encaissée par la société d'assurance.

	Moyenne des charges nettes	Prime de réassurance	Cotisation encaissée
Option 1	49,22M	13,28M	62,50M
Option 2	48,65M	14,04M	62,69M
Option 3	45,62M	18,07M	63,69M
Option 4	44,97M	18,94M	63,91M

FIGURE 4.7 – Cotisation encaissée suivant le programme de réassurance retenu

D'après l'hypothèse 5 et en intégrant l'équation (4.3) dans l'équation (4.2), nous pouvons déterminer le niveau des fonds propres à la fin de chaque année

simulée suivant la charge nette. De plus, nous estimons également le niveau des fonds propres libres en tenant compte de la valeur du SCR_{Cat} comme évoqué à l'aide de l'équation (4.1). À partir des simulations, nous pouvons ainsi déterminer la probabilité d'avoir des fonds propres libres négatifs à la fin de l'exercice pour les quatre stratégies de réassurance testées. Pour rappel, dans le cadre de la tolérance au risque Cat, nous avons posé la contrainte suivante : la probabilité d'avoir des fonds propres libres négatifs à la fin de l'exercice est inférieure ou égale à 10%.

Budget de réassurance sur capital disponible

Avec uniquement la contrainte sur la solvabilité, l'assureur pourrait être tenté de se couvrir le plus possible pour les risques catastrophes. Cependant, la réassurance a un coût proportionnel à la couverture. Ainsi, avec une part de cession importante, le budget de la réassurance deviendrait tout aussi élevé. C'est pourquoi, dans le cadre de la tolérance au risque Cat, nous avons défini une deuxième contrainte concernant la part du prix de réassurance sur le capital disponible. Ce ratio doit être inférieur ou égal à 15% pour respecter la contrainte.

D'après l'hypothèse 5, le capital disponible en début d'exercice est de 125M d'euros. De plus, le tableau 4.6 nous renseigne le coût de la réassurance suivant la stratégie choisie. Dès lors, comme en témoigne le tableau ci-dessous, nous pouvons déterminer la part du budget de réassurance.

	Capital disponible	Prime de réassurance	Part du budget de réassurance
Option 1	125M	13,28M	10,62%
Option 2	125M	14,04M	11,23%
Option 3	125M	18,07M	14,46%
Option 4	125M	18,94M	15,15%

FIGURE 4.8 – Budget de réassurance suivant la stratégie retenue

À la lecture du tableau ci-dessus, nous constatons que l'option 4 ne permet pas de satisfaire la contrainte sur le ratio du budget de réassurance contrairement aux trois autres stratégies. Ainsi, pour l'option 4, le coût de la réassurance est trop important compte tenu du capital initial alloué au risque Cat.

Représentation graphique

Le graphique ci-dessous est un nuage de points des quatre stratégies de réassurance. En abscisse, nous retrouvons la probabilité d'avoir des fonds propres libres négatifs à la fin de l'exercice. L'ordonnée correspond quant à elle au budget de réassurance sur le capital disponible alloué au risque Cat en début d'année.

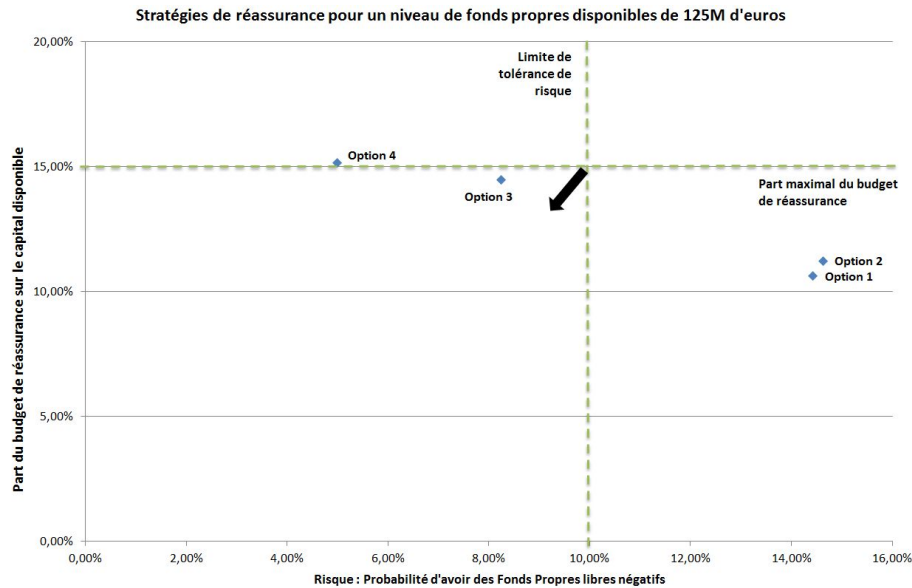


FIGURE 4.9 – Stratégies de réassurance sous contraintes définies dans la tolérance au risque Cat. Capital initial de 125M

Dans le cadre de la tolérance au risque Cat, nous avons défini comme première contrainte la probabilité d'avoir des fonds propres libres négatifs inférieure ou égale à 10% à la fin de l'exercice. À la lecture du graphique ci-dessus, nous constatons que les stratégies 1 et 2 ne respectent pas cette contrainte. En effet, les probabilités sont respectivement de 14,4% et 14,6%, traduisant ainsi le fait que l'assureur n'est pas suffisamment couvert en réassurance. À l'inverse, les options 3 et 4, respectent quant à elles la contrainte de solvabilité avec des probabilités respectives de 8,2% et 5%. Cependant, comme souligné dans l'interprétation du tableau 4.8, la stratégie 4 exige un budget en réassurance ne respectant pas la deuxième contrainte. Par conséquent, avec l'ensemble des hypothèses adoptées dans cette étude, la stratégie 3 est la seule à respecter la tolérance au risque Cat définie ici.

Le niveau de capital initial alloué au risque Cat varie d'un exercice à un autre. Ainsi, avec un capital initial de 150M par exemple, les quatre stratégies respectent la tolérance au risque Cat comme en témoigne le graphique suivant. Dans ce cas de figure, le choix de la stratégie peut être un arbitrage entre minimiser la probabilité sur les fonds propres libres et minimiser le coût de la réassurance.

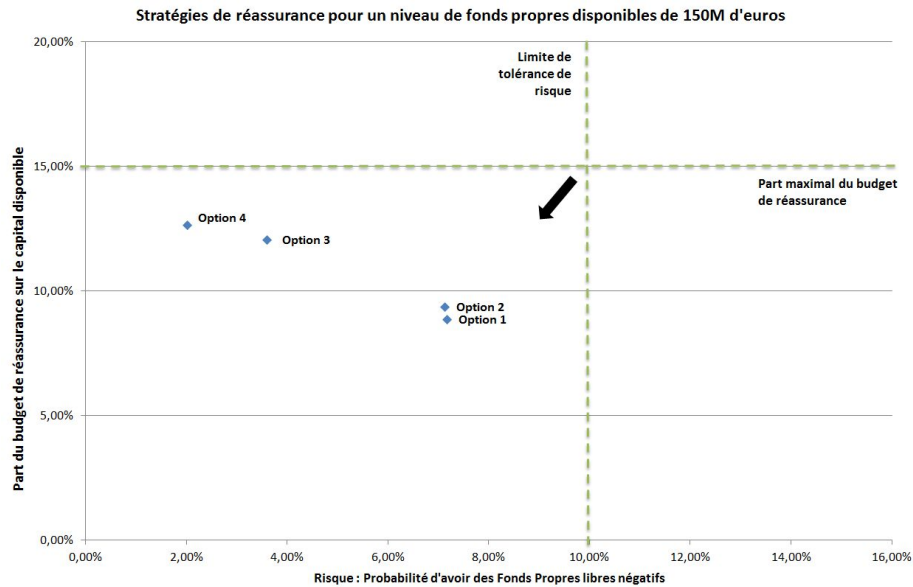


FIGURE 4.10 – Stratégies de réassurance sous contraintes définies dans la tolérance au risque Cat. Capital initial de 150M

4.3.3 Optimisation de la réassurance

Dans la sous-section 4.3.2, nous avons testé quatre stratégies de réassurance afin de se couvrir contre le risque climatique. Nous allons à présent nous intéresser à plusieurs stratégies en faisant varier les paramètres du traité en XS dans le but de trouver le programme qui respecte le mieux la tolérance au risque Cat définie précédemment. Nous allons tout d'abord partir des cinq premières hypothèses exposées dans la sous-section 4.3.2. Concernant les programmes de réassurance testés, nous allons faire varier la garantie de 380M à 500M avec un pas de 20M et faire varier la priorité de 10M à 120M avec un pas de 10M. Le graphique ci-dessous est un nuage de points de l'ensemble des stratégies. En abscisse, nous retrouvons la probabilité d'avoir des fonds propres libres négatifs à la fin de

l'exercice. L'ordonnée correspond quant à elle au budget de réassurance sur le capital disponible alloué au risque Cat en début d'année.

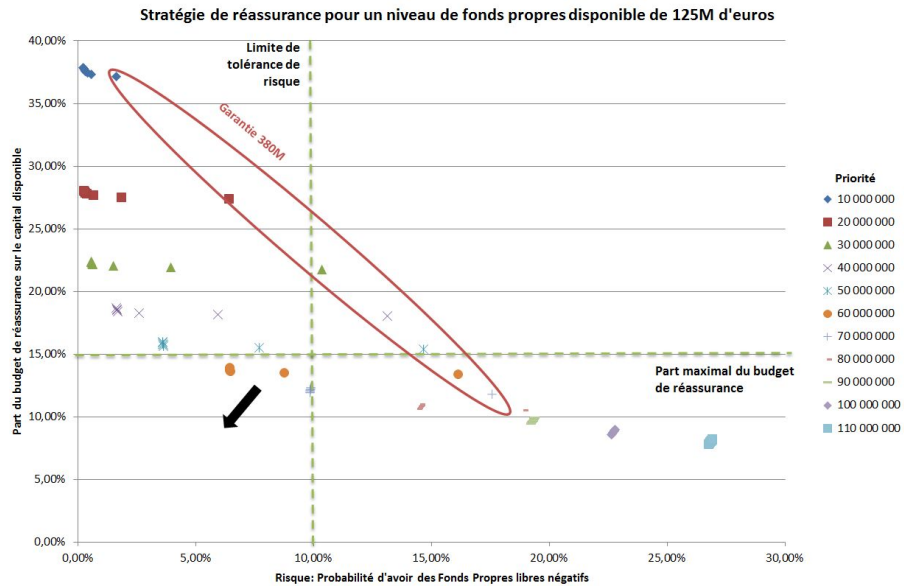


FIGURE 4.11 – Optimisation de la réassurance sous contraintes définies dans la tolérance au risque Cat. Capital initial de 125M

Notons tout d'abord que les programmes de réassurance avec une priorité supérieure à 80M ne respectent pas la contrainte sur les fonds propres libres. Ceci s'explique par le fait que la priorité est trop élevée et que le capital disponible ne soit pas suffisant pour couvrir les gros événements relativement fréquents. Soulignons également que les programmes avec une priorité inférieure à 50M ont un coût de réassurance élevé, ne permettant pas de respecter la contrainte sur le ratio $\frac{BudgetReassurance}{CapitalDisponible}$. En effet, avec une priorité faible, de nombreux "petits" événements interviennent dans les programmes de réassurance, engendrant ainsi une prime élevée. Dans notre étude, les stratégies qui respectent la tolérance au risque Cat sont celles dont les priorités sont comprises entre 60M et 70M avec des garanties supérieures à 400M. Par ailleurs, nous pouvons constater qu'à l'exception des traités ayant une priorité basse, le niveau de la garantie a très peu d'impact sur les deux contraintes définies dans le cadre de la tolérance au risque Cat.

Le graphique suivant représente le même type de nuage de points mais avec un

capital initial de 150M.

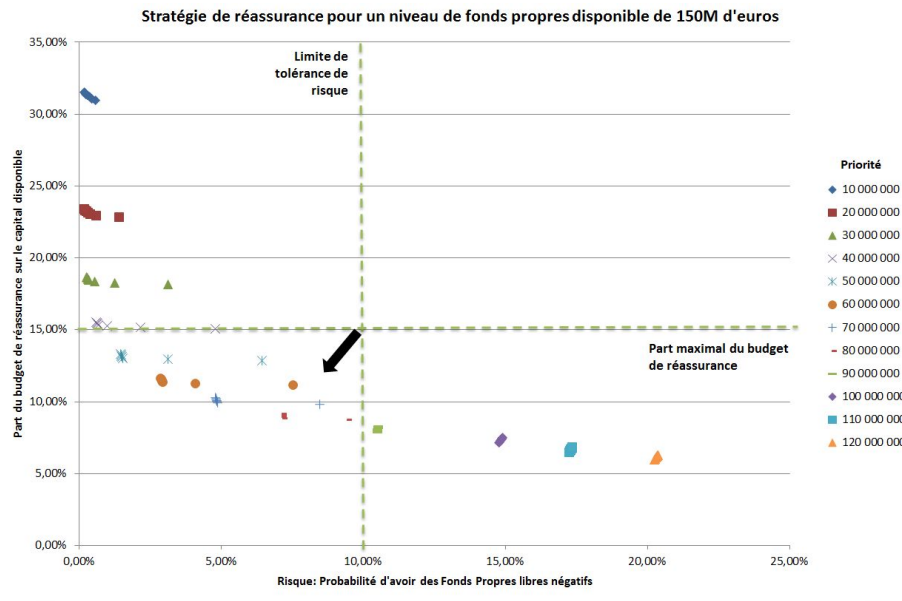


FIGURE 4.12 – Optimisation de la réassurance sous contraintes définies dans la tolérance au risque Cat. Capital initial de 150M

Dans l’hypothèse où le capital disponible alloué au risque Cat est de 150M, plusieurs programmes de réassurance respectent la tolérance au risque définie. En effet, nous constatons que les programmes dont la priorité varie entre 45M et 85M et la garantie entre 380M et 500M respectent les contraintes adoptées dans notre étude. Remarquons également que le fait d’avoir des capitaux initiaux plus importants permet d’avoir une probabilité de fonds propres libres négatifs moins sensible au niveau de la garantie retenue dans le programme de réassurance.

Le graphique ci-dessous est un zoom des traités respectant les contraintes définies dans le cadre de la tolérance au risque Cat. La priorité varie entre 45M et 90M avec un pas de 5M et la garantie varie entre 380M et 420M avec un pas de 5M.

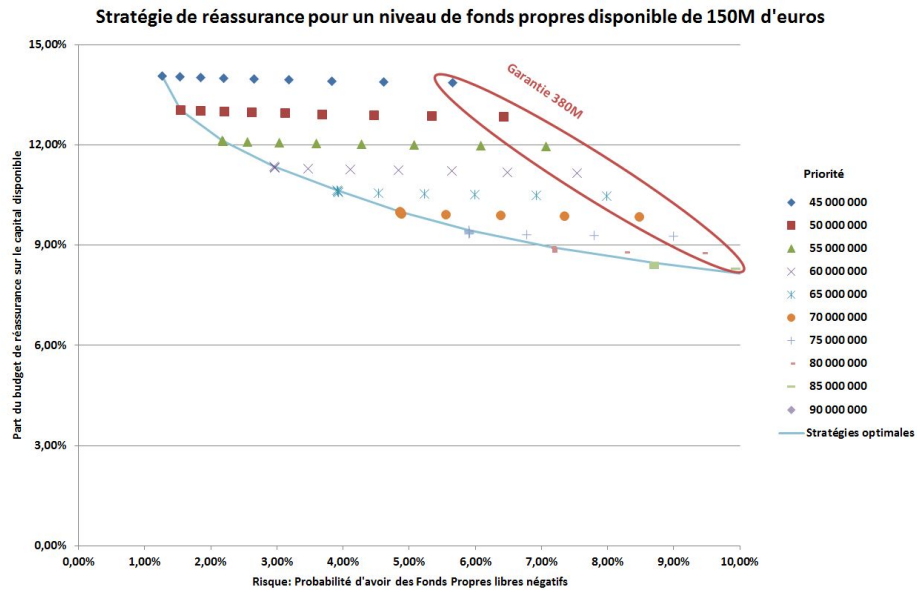


FIGURE 4.13 – Zoom des stratégies respectant la tolérance au risque Cat. Capital initial de 150M

En s'intéressant uniquement aux traités respectant la tolérance au risque Cat, graphiquement nous pouvons constater que certaines stratégies permettent à la fois d'avoir une probabilité sur le fonds propres libres et une prime de réassurance plus faibles que d'autres. Ainsi, nous pouvons tracer une frontière de stratégies optimales. À partir des capitaux disponibles alloués au risque Cat, le programme de réassurance pourra être défini en s'appuyant sur cette frontière. Par exemple, si la MAIF souhaite minimiser la probabilité d'avoir des fonds propres libres négatifs, alors elle choisira le programme 420M XS 45M. En revanche, si la MAIF a à sa disposition un budget de réassurance plus faible, comme par exemple 13,5M correspondant à 9% du capital disponible, alors elle choisira le programme 420M XS 80M.

Ces constats sont la conséquence des hypothèses retenues dans le cadre de ces travaux. En réalité, le prix des programmes de réassurance n'est pas forcément linéaire par rapport à la charge cédée. En effet, le réassureur peut demander une prime de risque supplémentaire pour certains programmes. De plus, il faut garder à l'esprit que le risque catastrophe n'est pas composé uniquement du péril tempête. Ainsi, cette étude devra être approfondie afin d'être plus représentative

de la réalité. Par ailleurs, la tolérance au risque Cat pourra également être modifiée en tenant compte d'autres indicateurs de mesures de risque. Dans le cadre de l'appétit au risque catastrophe, nous nous sommes intéressés uniquement à la stratégie de réassurance. Un levier alternatif serait d'utiliser les provisions pour égalisation des risques (PER) dont le principe est exposé en annexe. Ainsi, la MAIF pourra s'appuyer sur les travaux réalisés dans ce mémoire afin d'optimiser l'articulation entre la réassurance et les provisions pour égalisation.

Conclusion

Les événements climatiques et les catastrophes naturelles impactent de manière significative le résultat technique des assureurs. Ainsi, les sociétés d'assurance tentent de modéliser ces risques afin de mieux les maîtriser. Pour ce faire, elles s'appuient notamment sur des jeux d'événements déterminés par des modèles stochastiques. Ces modèles ont l'avantage de simuler des événements jamais survenus mais pouvant toutefois se réaliser dans le futur. Pour juger la cohérence globale du modèle stochastique avec la réalité, une mise en regard avec l'historique est primordiale. Afin de comparer les charges issues de ces modèles avec celles des événements survenus, l'assureur doit tenir compte de la déformation du portefeuille et de l'évolution des prix entre la date de survenance de l'événement et aujourd'hui. Pour ce faire, il doit au-préalable effectuer une mise en As-if du passé en s'appuyant sur des hypothèses, notamment concernant le choix de l'indice des prix.

Lors de la mise en regard des charges modélisées avec celles de l'historique, nous avons soulevé une incohérence notable au sujet des grêles. En effet, les épisodes grêleux récents (Pentecôte 2014, Juin 2013) ont prouvé que ce péril pouvait avoir des enjeux économiques plus importants que ceux prédits par la modélisation stochastique. Ainsi, la MAIF devra se rapprocher des courtiers en réassurance pour échanger sur ce sujet.

D'une part, la MAIF peut s'appuyer sur la modélisation stochastique afin de maîtriser sa sinistralité catastrophe, notamment dans le cadre de la tarification des garanties. De plus, dans le but d'expliquer un résultat technique déficitaire, nous avons distingué un événement exceptionnel d'un événement récurrent. Cette distinction repose sur les périodes de retour et est nécessaire pour le suivi de la sinistralité passée ainsi que dans le cadre de dossiers prévisionnels.

D'autre part, à partir de la modélisation stochastique, nous avons réalisé une étude permettant d'optimiser le traité de réassurance pour les événements climatiques sous contraintes définies dans le cadre de la tolérance au risque Cat. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur deux mesures de risque. Alors que la première consiste à minimiser la probabilité d'avoir des fonds propres libres négatifs à la fin de l'exercice, la seconde minimise le budget de la réassurance. Cette étude pourra être approfondie avec l'analyse d'autres mesures comme par exemple le ROE moyen.

La question de constitution et consommation des provisions pour égalisation des risques n'est pas traitée dans ce mémoire. Cependant, ce point demeure un sujet important dans le cadre de la maîtrise des phénomènes naturels. Ainsi, la MAIF pourra s'appuyer sur les études réalisées au cours de ce stage afin d'optimiser l'articulation entre la réassurance et les provisions pour égalisation des risques.

Glossaire

- **Appétence au risque** : Niveau de risque agrégé qu'une entreprise accepte de prendre en vue de la poursuite de son activité et d'atteindre ses objectifs stratégiques. [10]
- **As-if** : Perte liée à un événement passé que l'on rapporte aux valeurs assurées d'aujourd'hui.
- **Cat-Nat** : Catastrophe naturelle.
- **Dossier prévisionnel** : Estimation des indicateurs de résultat de l'entreprise à un horizon T.
- **Événement exceptionnel - Définition interne MAIF** : Événement dont la charge associée a une période de retour d'au moins 5 ans.
- **Événement récurrent - Définition interne MAIF** : Événement dont la charge associée a une période de retour de moins de 5 ans.
- **Fonds propres** : Capitaux de départ que dispose l'entreprise.
- **Période de retour** : Temps entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée.
- **Sinistralité** : Montant des sinistres à dédommager par une société d'assurance.
- **Tolérance au risque** : Niveau maximal de risque qui peut être pris sur

un profil de risque. [10]

Table des figures

1.1	Munich Re : Loss events worldwide 2013	16
1.2	Association française des assurances : Répartition géographique du nombre de communes sinistrées par une inondation de 1982 à 2012	19
1.3	Association française des assurances : Répartition géographique du nombre de communes sinistrées par une sécheresse de 1988 à 2012	20
1.4	Météo France : Tempête Lothar, valeurs maximales des vents ins- tants observés les 25 et 26 décembre 1999	22
1.5	Météo France : Tempête Martin, valeurs maximales des vents instantanés observés les 27 et 28 décembre 1999	23
1.6	Représentation d'un traité quote-part 20%. Partage des primes .	26
1.7	Représentation d'un traité quote-part 20%. Partage des sinistres	26
1.8	Représentation d'un traité excédent de plein avec une rétention de 20 (capacité totale=5 pleins)	27
1.9	Représentation d'un traité excédent de sinistre 100 XS 20	28
2.1	Avantages et inconvénients des deux approches de la modélisation des phénomènes naturels	35
2.2	CCR : Les trois modules d'un modèle CAT	36
2.3	Exemple d'un extrait de set d'événements	38
3.1	Extrait illustratif d'un scénario	47
3.2	Fonction de répartition d'une loi Béta de paramètres (16,27658 ; 6818,1326)	48
3.3	Dommages issus de catastrophes naturelles entre 1980 et 2011. Source Munich Re	49

3.4	Départements principalement impactés par le réchauffement climatique. Source FFSA	50
3.5	Représentation de la base de données SAS constituée avec les simulations	51
3.6	Illustration courbes AEP et EOP à partir de la modélisation. . .	53
3.7	Ventilation des charges des différents périls entre les produits habitation et automobile	55
3.8	Part des charges moyennes annuelles par péril	56
3.9	Nombre moyen d'événements par péril pour un exercice	56
3.10	Poids du coût moyen de la sinistralité maximale par rapport à la charge moyenne annuelle	57
3.11	Période de retour du coût total sur une année	58
3.12	Période de retour du coût maximal d'un événement sur une année	59
3.13	Rapport des charges nettes sur brutes pour la tempête	60
3.14	Processus de mise en As-if des sinistres historiques	61
3.15	Évolution du portefeuille habitation de la MAIF entre 1988 et 2013	62
3.16	Évolution de l'indice FFB de 1999 à 2013	64
3.17	Répartition des charges automobiles par poste de réparation . . .	65
3.18	Évolution de l'indice SRA de 1999 à 2013	66
3.19	Évolution du coût moyen historique d'un dossier tempête de 1997 à 2013	67
3.20	Taux d'actualisation pour les événements climatiques selon l'hypothèse retenue	67
3.21	Avantages et inconvénients des hypothèses d'actualisation	68
3.22	Processus de l'outil de mise en As-if d'un événement	69
3.23	Paramétrage de l'analyse en As-if	69
3.24	Charges liées aux tempêtes, rapport entre l'historique MAIF (As-if à partir des indices FFB et SRA) et la modélisation stochastique	71
3.25	Période de retour de la tempête Lothar suivant les hypothèses de mise en As-if	73
3.26	Période de retour de la tempête Martin suivant les hypothèses de mise en As-if	74
3.27	Charges liées aux grêles, rapport entre l'historique MAIF (As-if à partir des indices FFB et SRA) et la modélisation stochastique	76
3.28	Charges liées aux grêles, rapport entre l'historique MAIF (sans mise en As-if) et la modélisation stochastique	77

3.29	Grêle : Mise en regard des charges annuelles 2012 et 2013 ainsi que la charge médiane de l'historique (sans analyse en As-if) avec les périodes de retour AEP	78
3.30	Charges liées aux inondations, rapport entre l'historique MAIF (As-if avec indices FFB et SRA) et la modélisation stochastique .	79
4.1	Dimensions de risque et parties prenantes concernées. Tableau extrait du mémoire de Xavier AGENOS.	93
4.2	Seuil de probabilité selon les parties prenantes. Figure extraite du mémoire de Xavier AGENOS.	94
4.3	Exemple de mesures de risque pour la dimension solvabilité. Tableau extrait du mémoire de Xavier AGENOS.	94
4.4	SCR Cat selon le programme de réassurance retenu	98
4.5	Charge cédée pour la première année simulée	98
4.6	Prime de réassurance suivant le programme de réassurance retenu	99
4.7	Cotisation encaissée suivant le programme de réassurance retenu	99
4.8	Budget de réassurance suivant la stratégie retenue	100
4.9	Stratégies de réassurance sous contraintes définies dans la tolérance au risque Cat. Capital initial de 125M	101
4.10	Stratégies de réassurance sous contraintes définies dans la tolérance au risque Cat. Capital initial de 150M	102
4.11	Optimisation de la réassurance sous contraintes définies dans la tolérance au risque Cat. Capital initial de 125M	103
4.12	Optimisation de la réassurance sous contraintes définies dans la tolérance au risque Cat. Capital initial de 150M	104
4.13	Zoom des stratégies respectant la tolérance au risque Cat. Capital initial de 150M	105

Bibliographie

- [1] Association française de l'assurance. Tempêtes, grêle et neige : Résultats de l'année 2012. Mars 2014.
- [2] Munich Reinsurance America. 2013 natural catastrophe year in review. Janvier 2014.
- [3] Association française de l'assurance. L'assurance des catastrophes naturelles 2012. Avril 2014.
- [4] Peter ZIMMERLI. Catastrophes naturelles et réassurance. Avril 2003.
- [5] Thierry COHIGNAC et Geoffrey ECOTO. Tarification de réassurance cat-nat. Mars 2014.
- [6] Fédération Française des Sociétés d'Assurances. Synthèse de l'étude relative à l'impact du changement climatique et de l'aménagement du territoire sur la survenance d'événements naturels en France. Avril 2009.
- [7] Emmanuel DUPUY et Abdourahmane KAH. Modèle de tempête sur l'Europe. Juin 2009.
- [8] AON BENFIELD Anthony DERIEN. Les catastrophes dans l'orsa. Mars 2013.
- [9] Fédération Française des Sociétés d'Assurances. Les tempêtes de 1999. bilan chiffré et comparatif historique. impact et analyse du coût du risque. Octobre 2000.
- [10] WINTER ASSOCIES Frédéric PLANCHET et Marc JUILLARD. Mise en place d'un processus d'orsa. Avril 2011.
- [11] ACPR. Préparation à solvabilité ii : Enseignements de l'exercice d'orsa pilote 2013. Mars 2014.
- [12] Philippe ARTZNER Freddy DELBAEN Jean-Marc EBER et David HEATH. Coherent measures of risk. Juillet 1999.

- [13] Xavier AGENOS. Appétit pour le risque et gestion stratégique d'une société d'assurance non-vie. 2006.

Annexe A

Provisions pour égalisation des risques (PER)

L'article R.331-6-6 du Code des Assurances permet aux entreprises d'assurance de "*constituer en franchise d'impôt des provisions destinées à faire face aux charges exceptionnelles afférentes aux opérations garantissant les risques dus à des éléments naturel, ...*".

Il précise le montant à doter qui s'élève à 75% du bénéfice technique de la garantie des risques concernés et, limite la provision à un montant maximal de :

- 300% des cotisations nettes émises pour les risques dus à la garantie légale des catastrophes naturelles ;
- 300% pour les autres risques dus à des éléments naturels ;
- 500% des cotisations nettes émises pour les risques dus à la garantie Attentat.

Une reprise de la PER est réalisée en cas de **résultat technique déficitaire** de la branche. D'autre part, pour la PER Cat Nat et PER Eléments naturels, la dotation annuelle N-10 est reprise la onzième année suivant sa constitution si elle n'a pas été consommée. Pour la PER Attentat, la dotation annuelle N-12 est reprise la treizième année.

Détermination de la dotation ou reprise de la PER

- Si le résultat net de réassurance > 0 alors dotation à hauteur de 75%

du résultat net dans la limite de 300% ou 500% des cotisations nettes de réassurance ;

- Si le résultat net de réassurance < 0 alors reprise de la provision sur exercices antérieurs, pour le montant du déficit technique, dans la limite de la provision déjà constituée ;
- Si provision maximale autorisée $<$ provision à l'ouverture, alors reprise de la différence entre les deux montants ;
- En Cat Nat ou éléments naturels, si la dotation N-11 n'a pas été consommée, faire une reprise de ce montant ;
- En attentat, si la dotation N-13 n'a pas été consommée, faire une reprise de ce montant.

