

Mémoire présenté pour la validation de la Formation « Certificat d'Expertise Actuarielle » de l'Institut du Risk Management et l'admission à l'Institut des actuaires le

Par : Azeddine BAMANSOR			
Titre : Protection du résultat d'une compagnie d'assurance non vie via la réassurance ou la titrisation			
Confidentialité : ☐ Non ☐ Oui (Durée ☐ 1an ☐ 2 ans)			
Les signataires s'engagent à respecter la confidentialité indiquée ci-dessus			
Membres présents du jury de l'Institut des actuaires :	Entreprise : Nom : PACIFICA		
	Signature et Cachet :		
Membres présents du jury de l'Institut du Risk	Directeur de mémoire en entreprise :		
Management :	Nom : Valery CAUSSARIEU		
	Signature :		
	and		
	<u>Invité</u> :		
	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)		
Secrétariat :	Signature du responsable entreprise		
Bibliothèque :	and		
	Signature du candidat		

Résumé

Mots clés : Risque techniques, Modélisation de la sinistralité non vie, Déviation du résultat, Analyse financière dynamique (DFA), Réassurance, Cat bonds, réassurance frontée, réassurance collatéralisée

L'objectif de ce mémoire est d'analyser les risques techniques et plus précisément la sinistralité portée par PACIFICA (société d'assurance non vie), d'étudier les déviations résiduelles du résultat technique associées à ces risques et de proposer des méthodes permettant le transfert d'une partie de ces risques dans le cadre d'un programme de réassurance.

Pour PACIFICA, la déviation de la sinistralité résiduelle c'est-à-dire nette de réassurance est une composante très importante du résultat technique. Si la sinistralité résiduelle est supérieure aux attentes, alors PACIFICA s'expose à de lourdes pertes et à une forte volatilité de son résultat.

Nous présentons dans un premier temps les principaux risques techniques exposant PACIFICA ainsi que les principales méthodologies pour modéliser ces risques.

Pour couvrir ces risques, nous avons recours à de la réassurance traditionnelle dont nous décrivons les principaux mécanismes

Le programme de réassurance de PACIFICA doit permettre de limiter la volatilité du résultat, il vise à remplir 2 objectifs de protection.

- Sur le haut du programme, c'est-à-dire ce qui définit la limite d'intervention de la réassurance ou les plafonds des couvertures. Les plafonds des couvertures de réassurance sont choisis pour protéger les fonds propres.
 Les couvertures doivent protéger contre des évènements et des sinistres graves ainsi que leur charge cumulée à un niveau au moins équivalent à une VaR à 99,5%.
 Cet objectif est rempli par le programme de réassurance actuel et il ne sera pas étudié par la suite.
- Sur le bas, c'est-à-dire le début d'intervention de la réassurance, le programme de réassurance doit couvrir contre une dérive du résultat technique à horizon 10 ans, celleci doit être inférieure à un niveau de protection cible dit max définie par le comité de réassurance de PACIFICA.

 La réassurance doit limiter la déviation du résultat à un niveau maximum, c'est à dire l'écart entre la charge résiduelle annuelle maximum 10 ans et la charge résiduelle annuelle moyenne à ce niveau.

La réassurance doit intervenir à un niveau suffisant pour limiter cette déviation à un niveau dit maximum, le maximum définit le niveau de perte acceptable à 10 ans pour PACIFICA.

Afin de quantifier l'efficacité de la réassurance à 10 ans, nous mesurons la déviation brute de réassurance puis nette de réassurance d'abord sur la base de la sinistralité historique puis sur la base de la sinistralité modélisée.

La réassurance permet d'atténuer à un très bon niveau la déviation et la volatilité du résultat cependant après application de la réassurance, le niveau de déviation résiduelle reste supérieur au seuil d'acceptabilité de l'entreprise.

Nous avons observé qu'il restait sur les risques climatiques quelques sources de déviation résiduelles importantes. Nous avons proposé des ajustements de la structure de réassurance

existante sur les risques tempête et grêle afin de réduire la déviation résiduelle au niveau du seuil d'acceptabilité de l'entreprise.

Enfin, nous avons analysé la mise en œuvre de solution alternative (cat bonds, réassurance frontée et réassurance collatéralisée) pour couvrir le surplus de déviation résiduelle.

Les couvertures de réassurance financière ont été comparé à la couverture de réassurance traditionnelle sur différents indicateurs.

Plus globalement, le travail réalisé présente différentes options pour couvrir le bas du programme de réassurance sur la base d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs.

Summary

Keywords: Technichal risks, modeling loss from non life risk, deviation of the result, Dynamic Financial Analysis (DFA), reinsurance, Cat bonds, fronted reinsurance and collateralized reinsurance

The purpose of this dissertation is to analyze the technichal risks and more precisely the loss carried by PACIFICA, to study the residual deviations of the technical result associated with these risks and to propose methods allowing the transfer of part of these risks within the framework of a reinsurance program.

For PACIFICA, the deviation of the residual loss experience, that is to say after reinsurance, is a very important component of the technical result.

If the residual loss experience is higher than expected, then PACIFICA is exposed to heavy losses and high volatility in its earnings.

We first present the main technical risks exposing PACIFICA as well as the main methodologies for modeling these risks. To cover these risks, we use traditional reinsurance, the main mechanisms of which we describe.

The PACIFICA reinsurance program must make it possible to limit the volatility of the result, it aims to fulfill 2 protection objectives.

- At the top of the program, that is, what defines the reinsurance intervention limit or the coverage ceilings. Reinsurance coverage ceilings are chosen to protect equity. The covers must protect against serious events and losses as well as their cumulative charge at a level at least equivalent to a VaR of 99.5%. This objective is met by the current reinsurance program and will not be studied subsequently.
 - At the bottom of the program, i.e. the start of reinsurance intervention, the reinsurance program must cover against a drift in technical results within 10 years, this must be less than a target level of protection said 'max' defined by the PACIFICA reinsurance committee.

Reinsurance must limit the deviation of the result to a maximum level, i.e. the difference between the maximum annual residual charge 10 years and the average annual residual charge at this level.

Reinsurance must intervene at a level sufficient to limit this deviation to a so-called maximum level, the maximum defines the level of acceptable loss at 10 years for PACIFICA.

In order to quantify the effectiveness of 10-year reinsurance, we measure the deviation gross of reinsurance and then net of reinsurance first on the basis of historical claims and then on the basis of modeled claims.

Reinsurance allows the deviation and volatility of earnings to be reduced to a very good level, however after application of reinsurance, the level of residual deviation remains above the company's acceptability threshold.

We observed that there were still some significant residual sources of deviation on climate risks. We have proposed adjustments to the existing reinsurance structure for storm and hail risks in order to reduce the residual deviation from the business acceptability threshold.

Finally, we analyzed the implementation of an alternative solution like cat bonds, fronted reinsurance and collateralized reinsurance to cover the residual deviation surplus.

Financial reinsurance coverage was compared to traditional reinsurance coverage on different indicators.

More generally, the work carried out presents different options for covering the bottom of the reinsurance program on the basis of quantitative and qualitative indicators.

Remerciements

Je tiens à remercier en quelques mots tous ceux qui m'ont aidé à l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie particulièrement M. Valery CAUSSARIEU, directeur de ce mémoire, actuaire et responsable de l'équipe Modélisation Actuarielle de la Direction de la Solvabilité et de l'Actuariat (DSA) pour son soutien, ses conseils et sa relecture attentive.

Je remercie également M. Nabil KAZI-TANI, référent scientifique de ce mémoire, enseignantchercheur à l'université de Lyon 1, ISFA pour ses précieux conseils.

Je remercie également Mme Aude GOICHON, actuaire et membre de l'équipe Modélisation Actuarielle de la Direction de la Solvabilité et de l'Actuariat (DSA) pour sa relecture attentive.

Je remercie toute l'équipe du 8^{ème} étage de PACIFICA (service de la DSA et de la direction financière) pour leur soutien tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Je me permets d'adresser tous mes respectueux sentiments de gratitude à tout le personnel enseignant et administratif du CEA.

Enfin, mes dernières pensées vont à mes proches et à mon épouse pour leur soutien et leur patience durant toutes les étapes de la réalisation de ce mémoire

Sommaire

RESUME	3
SUMMARY	5
REMERCIEMENTS	7
INTRODUCTION	
REASSURANCE	
1.1 Identification et modélisation des risques	15
1.1.1 Principaux risques exposant PACIFICA	15
1.1.2 L'évaluation et la modélisation des principaux risques	
1.1.3 Indexation des sinistres	
1.1.4 Distinction par seuil	
1.1.5 Modélisation de la sinistralité	
1.1.6 Modélisation de la sinistralité attritionnelle	
1.1.7 Modélisation de la sinistralité grave	
1.1.8 Modélisation de la sinistralité Catastrophe	
1.1.9 Autres approches - Scénario	19
1.1.10 Dépendance entre les risques	
1.1.11 Sélection du modèle	
1.2 Couverture des risques par la réassurance traditionnelle	
1.2.1 La réassurance traditionnelle et son marché	
1.2.2 Les acteurs d'une opération de réassurance traditionnelle	
1.2.3 Intérêt de la réassurance pour la cédante	
1.2.4 Les principaux types de couvertures de réassurance	23
1.3.1 Cyclicité du marché	
1.3.2 Une concentration peu favorable aux assureurs	
1.3.2 One concentration ped lavorable aux assureurs	
2 REASSURANCE ALTERNATIVE	
2.1 Marché de la réassurance	
2.1.1 Capacités alternatives vs capacités traditionnelles	
2.1.3 Les principales formes de réassurance alternative	ےد
2.1.3 Les principales formes de reassurance alternative	
marchés financiers	
2.2.1 Titrisation en assurance	
2.2.2 Acteurs et calendrier d'une opération	
2.2.3 Intérêt de la titrisation pour la cédante : une alternative à la réassurance tradition	
2.2.4 Avantages pour le porteur de risque (investisseurs)	30
2.2.5 Focus sur une opération spécifique de titrisation : le Cat bonds	40
2.3 Comparaison des structures	
3 IDENTIFICATION DE FAIBLESSES DANS LE PROGRAMME DE REASS	
53	OKANOL
	5 4
3.1 Objectifs de notre programme de réassurance	
3.1.1 Indicateurs de déviation	
réassurance	
3.2.1 Contribution de chaque risque à la charge moyenne historique	
3.2.2 Contribution historique de chaque risque à la volatilité globale	
3.3.1 Déviation 10 ans modélisée globale avant application de la réassurance	
3.3.1 Deviation 10 ans modelisee globale avant application de la reassurance	
fonction de répartition	
3.3 Déviation 10 ans modélisée par péril avant application de la réassurance	
3.4 Mesure de l'efficacité de la réassurance sur la charge	
VIT INCOME OF LETTICACITE AC IN LEGISALISTICE SALLIN CHAINE ACTION OF THE CONTROL	01

3.4.1 Présentation du programme de réassurance PACIFICA	
3.4.2 Variabilité empirique de chaque risque par rapport à la charge moy	enne brute et nette 62
3.5 Mesure de l'efficacité de la réassurance via la modélisation	63
3.5.1 Volatilité modélisée avant / après réassurance	
3.5.2 Déviation 10 ans modélisée globale après application de la réassur	
3.5.3 Déviation 10 ans modélisée par péril après application de la réassu	
4 PROPOSITION D'AJUSTEMENT DE LA STRUCTURE DE RE	ASSURANCE67
4.1 Introduction	67
4.2 Modélisation de la sinistralité TGN (TGN, cyclone, gel)	
4.3 Structure actuelle du traité Tempête Grêle Neige (TGN)	
4.4 Les différents leviers pour réduire la déviation résiduelle	71
4.5 Augmenter la couverture au-dessus du programme de réassurance	
4.5.1 Analyse de l'historique	
4.5.2 Résultats des modèles	
4.6 Ajuster la couverture de la fréquence du programme de réassurance.	
4.6.1 Analyse de l'historique	
4.6.2 Résultats des modèles	
4.7 Augmenter la couverture en dessous du programme de réassurance.	
4.7.1 Analyse de l'historique	
4.7.2 Deviation modelisee apres filise en place d'une sous-jacente	
4.8.1 Structure de type Quote Part	
4.8.2 Structure de type excédent de sinistre (XS)	
4.8.3 Déviation après mise en place du SL	
4.8.4 Options retenues	
4.9 Comparaison des options	
4.9.1 Période d'attachement pour les options	
4.9.2 Gain marginal de transfert pour les options	
4.9.3 Classement entre options :	
5 CHOIX DE LA COUVERTURE ENTRE REASSURANCE TRAI	
5 CHOIX DE LA COUVERTURE ENTRE REASSURANCE TRAI	DITIONNELLE ET
5 CHOIX DE LA COUVERTURE ENTRE REASSURANCE TRAI FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES	DITIONNELLE ET 87
5 CHOIX DE LA COUVERTURE ENTRE REASSURANCE TRAIFINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES	DITIONNELLE ET 87 87
5 CHOIX DE LA COUVERTURE ENTRE REASSURANCE TRAIFINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES	DITIONNELLE ET87 87 87
5 CHOIX DE LA COUVERTURE ENTRE REASSURANCE TRAIFINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES	DITIONNELLE ET87878787
5 CHOIX DE LA COUVERTURE ENTRE REASSURANCE TRAIFINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES	S7 87 88 88 81 88 84 85 86 87 88 84 85 86 87 88 81 82 83 84 85 86 87 88 89 80 80 80 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 80 80 81 82 83 84 85
5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place	STIONNELLE ET 87 87 87 88 81 82 83 84 85 86 87 88 89 89 89 89 89
5 CHOIX DE LA COUVERTURE ENTRE REASSURANCE TRAIFINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle	STIONNELLE ET 87 87 88 81 82 83 84 85 90 95
5 CHOIX DE LA COUVERTURE ENTRE REASSURANCE TRAIFINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN. 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement	STIONNELLE ET 87 87 88 84 bonds 89 90 95 98 98 98 98 98 98 98 98 98 98 98
5 CHOIX DE LA COUVERTURE ENTRE REASSURANCE TRAIFINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN. 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds	DITIONNELLE ET
5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN. 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds 5.3 Les principales limites de la réassurance financière.	DITIONNELLE ET
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds 5.3 Les principales limites de la réassurance financière 5.3.1 Un effort de communication et de transparence important	DITIONNELLE ET
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds 5.3 Les principales limites de la réassurance financière 5.3.1 Un effort de communication et de transparence important 5.3.2 Un coût d'entrée important	DITIONNELLE ET
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds 5.3 Les principales limites de la réassurance financière 5.3.1 Un effort de communication et de transparence important 5.3.2 Un coût d'entrée important 5.4 La réassurance collatéralisée	DITIONNELLE ET
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds 5.3 Les principales limites de la réassurance financière 5.3.1 Un effort de communication et de transparence important 5.3.2 Un coût d'entrée important 5.4 La réassurance collatéralisée 5.4.1 Définition	DITIONNELLE ET
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN. 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds 5.3 Les principales limites de la réassurance financière 5.3.1 Un effort de communication et de transparence important 5.3.2 Un coût d'entrée important 5.4 La réassurance collatéralisée 5.4.1 Définition 5.4.2 Tarification via réassurance collatéralisée	## DITIONNELLE ET 100
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN. 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds 5.3 Les principales limites de la réassurance financière 5.3.1 Un effort de communication et de transparence important 5.3.2 Un coût d'entrée important 5.4 La réassurance collatéralisée 5.4.1 Définition 5.4.2 Tarification via réassurance collatéralisée 5.4.3 Limites de la réassurance collatéralisée	### DITIONNELLE ET 100
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN. 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note. 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds 5.3 Les principales limites de la réassurance financière 5.3.1 Un effort de communication et de transparence important 5.3.2 Un coût d'entrée important 5.4 La réassurance collatéralisée 5.4.1 Définition 5.4.2 Tarification via réassurance collatéralisée 5.5.5 La réassurance frontée	### DITIONNELLE ET 100
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN. 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds 5.3 Les principales limites de la réassurance financière 5.3.1 Un effort de communication et de transparence important 5.3.2 Un coût d'entrée important 5.4 La réassurance collatéralisée 5.4.1 Définition 5.4.2 Tarification via réassurance collatéralisée 5.4.3 Limites de la réassurance collatéralisée 5.5.1 Tarification via réassurance frontée.	DITIONNELLE ET
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds 5.3 Les principales limites de la réassurance financière 5.3.1 Un effort de communication et de transparence important 5.3.2 Un coût d'entrée important 5.4 La réassurance collatéralisée 5.4.1 Définition 5.4.2 Tarification via réassurance collatéralisée 5.5.1 Tarification via réassurance frontée 5.5.2 Limites de la réassurance frontée	### DITIONNELLE ET 100
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds 5.3 Les principales limites de la réassurance financière 5.3.1 Un effort de communication et de transparence important 5.3.2 Un coût d'entrée important 5.4 La réassurance collatéralisée 5.4.1 Définition 5.4.2 Tarification via réassurance collatéralisée 5.5.1 Tarification via réassurance frontée 5.5.2 Limites de la réassurance frontée 5.5.3 Limites de la réassurance frontée 5.5.4 Principaux impacts tarifaire réassurance traditionnelle, réassurance fontée	DITIONNELLE ET
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN	DITIONNELLE ET
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle	DITIONNELLE ET
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle 5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place 5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN. 5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Ca 5.2.1 Structure et flux financiers 5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques 5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note 5.2.4 Frais de structuration et placement 5.2.5 Tarification via cat bonds 5.3 Les principales limites de la réassurance financière 5.3.1 Un effort de communication et de transparence important 5.3.2 Un coût d'entrée important 5.4 La réassurance collatéralisée 5.4.1 Définition 5.4.2 Tarification via réassurance collatéralisée 5.5.1 Tarification via réassurance collatéralisée 5.5.1 Tarification via réassurance frontée 5.5.2 Limites de la réassurance frontée 5.5.2 Limites de la réassurance frontée 5.5.1 Tarification via réassurance frontée 5.5.2 Limites de la réassurance frontée 5.5.7 Principaux impacts tarifaire réassurance traditionnelle, réassurance complexe Cat bonds)	STIONNELLE ET 87 87 87 88 88 89 90 98 98 99 99 99 99 100 100 101 102 rontée, réassurance 103 e collatéralisée (schéma 104 104 104 105 106 106 107 107 108 108 109 109 100 100 100 101 102 102 103 103 104 104 104 105 106 106 107 107 108 108 109 109 100 100 100 101 100 102 100 103 100 104 100 105 100
FINANCIERE POUR TRANSFERER LES RISQUES 5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle	STIONNELLE ET 87 87 87 88 88 81 89 90 95 98 98 99 99 99 99 100 100 101 101 102 102 rontée, réassurance 103 e collatéralisée (schéma 104 105 105

5.8.3 SCR Catastrophe naturelle	107
5.8.4 SCR marché	
5.8.5 Synthèse des impacts sur le SCR	108
5.9 Comparaison des couvertures de protection pour PACIFICA	108
CONCLUSION	111
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXE	115
1 Exemple de mise en as if (charge inondation)	
2 Recensement des événements marché marquants	
3 Modélisation tempête, grêle, neige et gestion des dépendances	
4 Marché de la réassurance	
5 Définition d'un événement en réassurance	124
6 Formes de réassurance	124
7 Regional Property Catastrophe ROL Index	125
8 Gains de diversification	
9 Réassurance alternative non vie	126
10 Autres acteurs d'une opération de titrisation	
11 Exemple de règle pour la commutation du collatéral	
12 Autres formes de titrisation en assurance	
13 Différences entre réassurance et titrisation, Modèle de Cummins	
14 Réassurance collatéralisée	
15 Réassurance frontée	
16 Déviation historique de la fréquence à 10 ans	
17 Définition Prime commerciale en réassurance	
18 Quelques indicateurs de l'efficacité de la réassurance	
19 Caractéristiques de l'obligation cat bond	
20 SCOPE – Probabilité de défaut	
21 Probabilité de défaut utilisée dans le cadre de Solvabilité 2	1/12

Introduction

Les assureurs non vie (via les branches dommage et RC) connaissent leurs lots d'incertitude avec l'inflation des coûts, l'environnement économique, les rendements financiers faibles, Ces incertitudes pèsent sur la volatilité du résultat des compagnies et sur le niveau de fonds propres nécessaire à l'activité.

Des stratégies actives de gestion des risques (réassurance, souscription, réglementaires, prévention, primes, ...) peuvent permettre de réduire la volatilité du résultat et le niveau de fonds propres.

Parmi ces stratégies de gestion des risques, la réassurance traditionnelle via le recours à un réassureur offre un grand panel de solution pour préserver le résultat et les fonds propres.

La réassurance traditionnelle présente l'inconvénient d'être une activité cyclique, avec des coûts qui fluctuent en fonction des cycles tarifaires, de la concentration des acteurs, du pouvoir de négociation de chacun.

D'autres mécanismes de protection existent, ces mécanismes consistent à transférer le portefeuille de risques vers les marchés financiers. PACIFICA a échangé avec différents acteurs (réassureurs, courtiers en réassurance) afin d'identifier les mécanismes existants de transfert de risque d'assurance sur le marché financier.

Nous réaliserons une étude d'opportunité sur le sujet et nous comparerons ce mécanisme de transfert de risque au mécanisme traditionnel.

PACIFICA est la principale filiale assurance dommages du groupe Crédit Agricole Assurances. L'entreprise a été créée en 1990 afin de diversifier les activités du groupe bancaire. Depuis sa création, le chiffre d'affaires de PACIFICA augmente de manière significative chaque année (+9% sur la période 2017/2018).

Cette croissance se traduit par une évolution du risque supporté par PACIFICA compensée par plus de diversification et de mutualisation. La croissance du portefeuille se traduit aussi par des déformations structurelles et spatiales du portefeuille.

Les lignes d'activité Incendie et dommages aux biens, dommages auto et responsabilité automobile constituent les lignes les plus significatives de l'activité de l'entreprise en termes de chiffres d'affaires et de provisions. Elles représentaient plus de 66% des meilleures estimations des provisions de sinistres nettes de cession et des primes émises nettes de cession au 31 décembre 2018.

Les principaux risques techniques exposant PACIFICA sont couverts par la réassurance. Ces couvertures de réassurance sont élaborées par le Comité de Réassurance.

Le Comité de Réassurance valide toutes les étapes de l'élaboration et le placement du programme de réassurance. La validation comporte un volet structure, un volet tarif et un avis sur la qualité de placement du programme de réassurance.

Le Comité de Réassurance est composé de la Direction Générale (DG), la Direction de la Solvabilité et de l'Actuariat (DSA), la Direction du Marché des Particuliers (DPART), la Direction des Marchés de l'Agriculture et des Professionnels (DMAP), le responsable du contrôle permanent et des risques (RCPR) et la Direction Financière (DFI).

Le Comité de Réassurance décide des options de structure de PACIFICA, il est aidé pour la prise de décision par les travaux de la Direction de la Solvabilité et de l'Actuariat (DSA).

La DSA incarne la fonction actuarielle de PACIFICA au sens de Solvabilité 2. Elle coordonne le calcul des provisions techniques, elle émet un avis sur la politique de souscription, elle apporte son expertise sur la modélisation et sur la politique de réassurance de PACIFICA.

Les avis et les travaux de modélisation de la DSA permettent au comité de réassurance de se positionner sur les options de structure de réassurance de PACIFICA pour l'année suivante.

Les éventuelles modifications de la structure de réassurance étudiée par la DSA visent à remplir les objectifs de protection de PACIFICA :

- Sur le haut du programme, c'est-à-dire ce qui définit la limite d'intervention de la réassurance ou les plafonds des couvertures.
 - Les plafonds des couvertures de réassurance sont choisis pour protéger des évènements et des sinistres graves ainsi que leur charge cumulée à un niveau au moins équivalent à une VaR à 99,5%.
 - La structure actuelle répond aux attentes du Comité de Réassurance concernant cet objectif, il ne sera pas étudié par la suite.
- Sur le bas, c'est-à-dire le début d'intervention de la réassurance, le programme de réassurance doit couvrir contre une dérive du résultat technique à horizon 10 ans, celle-ci doit être inférieure à un niveau maximum.

Déviation (Résultat technique net; 90%) < max.

Nous nous concentrerons sur la composante sinistre du résultat technique, les autres leviers comme la prime ou les frais ne seront pas étudiés.

La réassurance doit limiter l'écart entre la charge résiduelle annuelle maximum 10 ans et la charge résiduelle annuelle moyenne à ce niveau maximum :

VaR(Charge cumulée nette; 90%) — Moyenne(Charge cumulée nette) < max La réassurance doit intervenir à un niveau suffisant pour limiter cette déviation.

Nous allons nous concentrer sur le volet dérive de résultat car actuellement nous considérons que les niveaux de protection apportés par la réassurance sont bien couverts à 200 ans.

Ce mémoire vise principalement à :

- Analyser les risques techniques portés par l'entreprise ainsi que les déviations résiduelles du résultat technique associées à ces risques.
- Étudier comment transférer une partie de ces risques dans le cadre du programme de réassurance d'une compagnie d'assurance non vie.

Dans la première partie, nous présenterons les principaux risques techniques exposant PACIFICA, la manière de les modéliser ainsi que les principaux mécanismes de réassurance traditionnelle.

Dans la seconde partie, nous présenterons quelques alternatives de réassurance financière à la réassurance traditionnelle.

Dans la troisième partie, nous analyserons le programme de réassurance de PACIFICA puis nous tenterons d'identifier les faiblesses de ce programme dans le cadre des objectifs de protection définis par la DG. Nous nous concentrerons dans cette partie sur la déviation du résultat à 10 ans.

Dans un quatrième temps, nous proposerons de réduire la déviation résiduelle via la réassurance traditionnelle.

Enfin, nous proposerons d'étudier la mise en œuvre de solution alternative au programme de réassurance actuel via la mise en place d'une couverture de réassurance financière.

1 Modélisation des risques et couverture des risques par la réassurance

Dans ce chapitre, nous allons étudier les principaux risques techniques d'une compagnie d'assurance non-vie traditionnelle. Par risques techniques, nous entendons les évènements ou sinistres donnant lieu à une indemnisation car couverts par les contrats d'assurance. Ces événements ou sinistres seront regroupés par typologie d'évènement ou de sinistre afin de permettre un traitement homogène.

Une fois regroupés, nous présenterons les méthodologies d'évaluation et de modélisation de ces risques ainsi que les couvertures de réassurance utilisées pour les atténuer.

Nous présenterons quelques éléments sur l'analyse financière dynamique (DFA) qui est un outil de simulation permettant entre autres de mesurer l'efficacité de la réassurance donc d'agréger la modélisation des risques, et la structure des risques. Le DFA permet également l'intégration des dépendances entre risques.

1.1 Identification et modélisation des risques

Les risques qui exposent le résultat de PACIFICA font l'objet d'un recensement, d'un suivi et d'une évaluation régulière. Cette étape vise à donner les principales caractéristiques des risques et leurs modélisations.

1.1.1 Principaux risques exposant PACIFICA

Les risques, faisant intervenir les garanties d'un contrat, exposent le résultat de PACIFICA. Ces risques sont la conséquence d'événements incertains, indépendants de l'assuré.

A titre illustratif, chaque produit d'assurance couvre potentiellement une multitude de garantie. Le produit multi risques habitation (MRH) couvre par exemple les risques suivants : tempête, incendie, dégâts des eaux, inondations, grêle, neige, événement climatique, vandalisme, catastrophe naturelle, technologique ou attentat, responsabilité civile, ...

L'évolution des caractéristiques de chaque sinistre peut avoir un impact important sur le résultat d'une entreprise d'assurance comme par exemple le nombre de polices touchées, la durée de liquidation, typologie...

Ces sinistres sont de plusieurs natures, on peut les distinguer en fonction du nombre de polices touchées :

- Les 'unitaires' impactant une police comme par exemple les sinistres protection du conducteur accident de la vie.
- Les 'évènements' qui sont des cumuls de sinistres individuels avec une cause commune à l'image des tempêtes, grêles.

On peut aussi les caractériser à partir de leur durée de liquidation, cette durée correspond à la période entre ouverture et la fermeture du sinistre. Pendant cette période, l'évaluation du sinistre peut être revue et réévaluée :

- On parle de branches à développement court, lorsque les sinistres composant cette branche sont payés rapidement. Ces sinistres offrent en général peu d'incertitude sur le coût à l'image des sinistres dégâts des eaux qui sont payés rapidement.

On parle de branches à développement long, lorsque le sinistre est payé très lentement c'est-à-dire lorsqu'il faut plusieurs années pour payer le sinistre. Ces sinistres nécessitent des experts pour évaluer le coût comme pour un sinistre RC Corporelle par exemple.

1.1.2 L'évaluation et la modélisation des principaux risques

Pour évaluer les risques, nous disposons parfois de la sinistralité historique mais cela n'est pas suffisant pour les caractériser.

La sinistralité historique ne se base que sur des sinistres ayant impacté le portefeuille or certains périls sont peu fréquents (cyclone, tremblement de terre...).

Par exemple, la sinistralité historique ne permet pas d'évaluer le coût d'un tremblement de terre de grande ampleur en France métropolitaine car ces évènements sont très rares et peu se sont produits au 20^{ème} et au 21^{ème} siècle. Il est donc difficile d'en appréhender l'impact en termes assurantiels à partir de la sinistralité historique.

La modélisation permet de contourner une partie des limites de la sinistralité historique, elle permet de disposer à partir de méthodes statistiques d'un catalogue d'événements/sinistres probables, c'est-à-dire existants mais non observés sur le portefeuille d'assurés.

La modélisation permet de quantifier le comportement de ces risques sur la base de données historiques et d'en prévoir les conséquences.

La modélisation permet de passer d'une vision simpliste sur des données empiriques à des simulations stochastiques basées sur une appréciation du risque.

Ces simulations stochastiques reproduisent des sinistres de manière aléatoire sur la base de leurs distributions statistiques.

1.1.3 Indexation des sinistres

Pour construire des modèles de risques, nous avons besoin de données de sinistralité historique. Ces données doivent être traitées avant de pouvoir être utilisées.

L'indexation des sinistres consiste à actualiser les sinistres passés, c'est-à-dire les transformer en euros courants. L'indexation des événements consiste à actualiser les événements passés, un sinistre de 1999 n'aura pas même valeur que le même sinistre d'aujourd'hui.

On distingue principalement 3 types d'indexation ou mise en 'as if' :

- Economique : qui permet de prendre en compte l'inflation du sinistre, un indice marché est généralement utilisé pour actualiser un sinistre passé.
 Cette inflation permet par exemple d'intégrer l'évolution des coûts de carrosserie automobile sur les sinistres dommages automobiles.
- Structurelle : qui permet de prendre en compte non seulement l'évolution du nombre d'assurés mais également la déformation de la structure de portefeuille.

 Le développement par exemple d'un portefeuille d'assurés multi risque habitation avec une croissance rurale plus importante que la croissance urbaine se traduit par une hausse du nombre de maisons par rapport au nombre d'appartements.
- Jurisprudentielle : qui permet de prendre en compte l'évolution de la législation. Elle permet par exemple d'intégrer le changement de barèmes d'indemnisation pour certains sinistres corporels.

Dans la mesure du possible, nous mettons en œuvre ces 3 types d'indexation. Un exemple d'application de la mise en 'as if' figure dans Annexe : 1 Exemple de mise en as if (charge inondation).

1.1.4 Distinction par seuil

Pour la modélisation, nous distinguons les événements et les sinistres. Les événements sont des cumuls de sinistres individuels avec une cause commune comme par exemple les tempêtes. Les sinistres correspondent à des sinistres individuels dit aussi 'unitaires' à l'image des sinistres RC corporelle ou dégâts des eaux.

Pour les sinistres 'unitaires', on distingue 2 typologies de sinistres, la sinistralité 'attritionnelle' et la sinistralité 'grave'. La distinction 'grave' et 'attritionnelle' est faîte à partir d'un seuil de coût.

Les sinistres 'attritionnels' sont des sinistres habituels pour lesquels la cédante a beaucoup de données avec une fréquence élevée et un coût faible. Ils ont un développement court et ils sont plus faciles à gérer.

L'assureur dispose de beaucoup d'informations sur ces sinistres, ils sont plus faciles à estimer. Cette sinistralité dites 'récurrente' est composé d'une fréquence importante et d'une sévérité peu élevée.

La sinistralité associée à la garantie dégâts des eaux entre dans cette définition.

Les sinistres 'graves' sont des sinistres inhabituels c'est-à-dire pour lesquels la cédante (assureur) a peu de données avec une fréquence faible et un coût élevé. Ils ont en général un développement long car ils nécessitent le recours à des experts à l'image de l'expertise médicale pour les sinistres corporels. Ces sinistres sont plus difficiles à estimer compte tenu du peu d'informations, et ils peuvent avoir un impact fort sur le résultat.

La sinistralité associée à la garantie RC Corporelle est un exemple de sinistralité grave.

Pour les événements, nous ne faisons pas de distinction par seuil. Cependant les événements sont parfois difficiles à quantifier, il faut pour cela identifier clairement le périmètre (géographique, temporel...) de chaque événement. Un événement doit impacter plusieurs polices sur un temps limité, sur un territoire précis, et il doit respecter une certaine matérialité. Les empreintes d'événement sont parfois difficiles à préciser.

Par exemple, le passage de la tempête Lothar le 26 décembre 1999 puis de Martin le 27 décembre 1999 sur la France, tracé de 2 tempêtes différentes aux trajectoires parallèles à 1 jour d'intervalle traduit cette complexité.

Ces étapes sont préalables à la modélisation.

1.1.5 Modélisation de la sinistralité

La modélisation de la sinistralité permet de construire une distribution statistique des risques plus pratique pour matérialiser l'impact des périls : nous y distinguons la sinistralité attritionnel, la sinistralité grave et les événements.

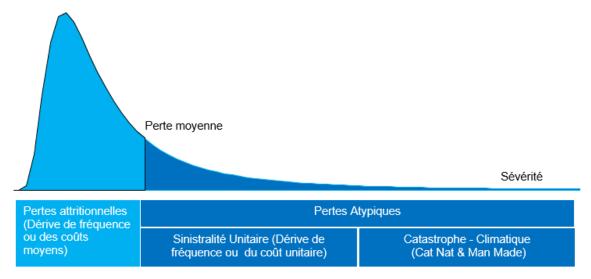


Figure 1 : Modélisation de la sinistralité.

1.1.6 Modélisation de la sinistralité attritionnelle

Pour modéliser la sinistralité attritionnelle, nous isolons la charge des sinistres 'as if' en dessous d'un seuil des 'graves'.

La sinistralité attritionnelle est généralement modélisée en vision agrégée par année de survenance.

$$Sj = \sum_{i=1}^{I} X_{i,j} .$$

Avec $X_{i,j}$ est le coût du i-ème sinistre de l'année j.

La charge est cumulée par année de survenance du sinistre et c'est sur les charges cumulées annuelles que les paramètres de lois de sévérité sont calibrés.

Les paramètres sont obtenus via des estimateurs du maximum de vraisemblance ou des estimateurs des moments lorsque cela est possible.

Nous utilisons les lois de sévérité Weibull, Log-Normale (les caractéristiques de ces lois de sévérité sont précisées dans plusieurs livres de statistiques, nous citerons l'ouvrage 'Probabilités, analyse des données et statistiques' de SAPORTA [2011] qui regroupe les principales lois et les tests) pour modéliser la charge agrégée.

Ils existent d'autres méthodes pour modéliser la sinistralité attritionnelle comme par exemple la méthode de WILSON, HILFERTY [1931] ou la méthode fréquence-coût.

La modélisation des attritionnels via fréquence-coût nécessite de calibrer les paramètres des lois de coûts et de fréquence puis de simuler la fréquence et la sévérité.

Cette méthode est consommatrice en temps de simulation car les sinistres sont nombreux.

Nous n'avons pas utilisé l'approximation de WILSON, HILFERTY [1931] n'est pas utilisée car elle suppose que la distribution de la charge agrégée suit une loi centrée.

Lorsque plusieurs lois sont disponibles pour modéliser, nous procédons à une étape de validation de la qualité de l'ajustement des données à la loi théorique. Des tests statistiques (Khi-deux,) sont utilisés pour sélectionner la meilleure 'loi' au sens statistique.

1.1.7 Modélisation de la sinistralité grave

La modélisation de la sinistralité grave s'effectue via une approche fréquence-coût à partir des triangles du nombre de sinistres au-dessus du seuil de graves et du triangle des coûts au-dessus du seuil après mise en 'as if'.

La modélisation des 'graves' repose sur les hypothèses du modèle de risque collectif. Le modèle collectif permet d'agréger les sinistres d'un portefeuille à partir de la modélisation des coûts et de la modélisation du nombre de sinistres annuel (fréquence).

Pour utiliser le modèle collectif, il faut que les polices soient homogènes et indépendantes entre elles, et il doit y avoir indépendance entre les fréquences et les coûts.

$$S = X_1 + \dots + X_N \le S = \sum_{i=1}^{N} X_i.$$

Avec X_1 , X_2 ,..... ou X_i est le coût i-ème sinistre et N le nombre de sinistres.

Les paramètres de lois sont obtenus via des estimateurs du maximum de vraisemblance ou des estimateurs des moments lorsque cela est possible.

Nous utilisons les lois de sévérité Pareto, GPD...pour modéliser le coût des 'graves'.

Nous utilisons les lois fréquence de type Binomiale, Poisson, Binomiale Négative ...pour modéliser le nombre annuel de 'graves'. Ces lois sont discrètes.

Nous utilisons ensuite des tests statistiques (Khi-deux,) pour sélectionner la meilleure 'loi' au sens statistique parmi celles envisagées. Pour choisir le couple de loi fréquence-sévérité, nous procédons à une étape de validation des meilleures lois sur la base de tests statistiques.

1.1.8 Modélisation de la sinistralité Catastrophe

Dans le cadre de la modélisation catastrophe, nous utilisons des logiciels marchés ou des modèles internes. La modélisation catastrophe se base généralement sur une approche par module (principalement utilisée dans les climatiques) :

- Le module 'aléa' vise à reproduire les caractéristiques physiques des périls modélisés (vitesse de vent et trajectoire pour un modèle tempête par exemple).
- Le module 'exposition' vise à intégrer au modèle les caractéristiques du risque assuré et du code postal (géolocalisation des sommes assurées, ...). Les caractéristiques du portefeuille sont intégrées dans ce module, spécificités du portefeuille (Prix et année de construction, vocation du bien, ...).
- Le module 'vulnérabilité' permet de calculer les dommages créés par un événement sur un portefeuille, en fonction de ses caractéristiques.

 Ce module nécessite une approche par région, par type de bâti, par topographie, Et vise à obtenir des courbes d'endommagement ou de destruction en fonction de l'intensité du péril et idéalement par type de bâti (région, topographie, ...).
- Le module 'financier' vise à appliquer les franchises, et les autres caractéristiques financières des contrats. Ainsi, les traités de réassurance sont appliqués à ce niveau.

1.1.9 Autres approches - Scénario

Lorsque les données statistiques ne sont pas disponibles ou suffisantes pour utiliser directement une loi statistique, nous utilisons des approches par scénario pour modéliser la sinistralité.

Les scénarios reposent sur la reproduction d'un événement couvert par la cédante mais pour lequel elle a peu d'information (cf. Annexe, 2 Recensement des événements marché marquants). Le scénario Mont-Blanc mesure par exemple l'impact pour la compagnie d'un sinistre responsabilité civile aux caractéristiques proches de l'incendie du tunnel du Mont-Blanc de 1999.

Compte tenu du faible nombre d'évènements sur lequel repose un scénario, celui-ci est souvent difficile à probabiliser. De plus, les scénarios ne permettent pas de prendre en compte l'exhaustivité des événements auxquels sont soumis une compagnie.

L'ouvrage Assurance non-vie, modélisation, simulation de PARTRAT et BESSON [2006] aborde d'autres aspects de la modélisation des risques non vie.

1.1.10 Dépendance entre les risques

A ce stade, nous avons modélisé les risques de manière indépendante, il existe potentiellement un lien entre les risques. Ce lien est appelé dépendance entre les risques.

La liaison entre risques permet de caractériser le comportement des risques les uns par rapport aux autres. La prise en compte de la structure de dépendance permet d'avoir une modélisation réaliste des liaisons entre risques, c'est à dire au plus près de la sinistralité historique.

Préalablement à la modélisation, une 1ere étape consiste à mesurer le niveau de dépendance entre risques. Pour quantifier le niveau de dépendance, on a recours au calcul des corrélations linéaires ou à des mesures locales de dépendance. Les corrélations linéaires sont utiles pour mesurer la dépendance sur l'ensemble de la distribution. Les mesures locales sont utiles pour quantifier la dépendance sur des zones spécifiques de la distribution comme les queues, les centres....

Une seconde étape consiste à modéliser la dépendance entre risques. Elle peut l'être via l'intégration des coefficients de corrélation ou via la modélisation de copule.

Les coefficients de corrélation permettent de simuler une dépendance linéaire entre les risques. Ils donnent une mesure de l'intensité et du sens de relation linéaire entre deux variables, ils sont calculés à partir des variances et des covariances.

La décomposition de Cholesky (publiée en 1924) est utilisée pour calculer la matrice de variance-covariance. L'utilisation de cette matrice suppose que la dépendance est la même sur l'ensemble de la distribution.

Les copules permettent de caractériser les structures de dépendance plus complexes entre risques. Elles permettent de capter et de modéliser la dépendance symétrique, sur le bas ou encore sur la queue des distributions.

La copule est définie comme la fonction de répartition de la loi jointe (Théorème de Sklar 1959), elle permet de reconstituer une loi conjointe à partir des lois marginales.

La structure de dépendance entre 2 variables peut être modélisée via des copules de la famille elliptiques ou archimédiennes.

Les copules elliptiques sont des copules associées à des lois sphériques. Les lois sphériques sont des lois dont les courbes de densité sont en général des ellipses. Les copules elliptiques ne permettent pas la prise en compte des dépendances différenciées dans les extrêmes.

La copule gaussienne appartient à cette famille de copule.

La copule gaussienne permet par exemple de simuler une dépendance au centre de la distribution. La structure de dépendance utilisée pour cette copule est la matrice de variance covariance.

Cette approche est très utilisée dans les marchés financiers qui supposent que les rendements financiers sont gaussiens.

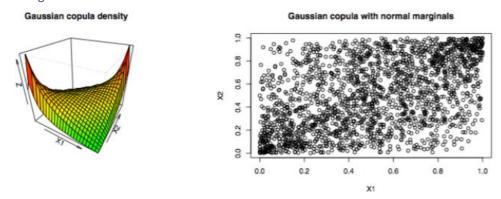


Figure 2 : Copule Gaussien, Eric PRADIER [2011], Théorie des copules et application à la VaR.

Les copules archimédiennes sont des copules associées à un générateur archimédien. Le générateur archimédien est une fonction convexe et décroissante avec $\omega\colon [0,+\infty]\to [0,1]$. Les copules archimédiennes sont des copules avec des caractéristiques propres de dépendance symétrique comme avec la copule de Gumbel, de Frank ou de Clayton. Elles permettent de simuler des dépendances dans les extrêmes.

La copule de Gumbel permet de simuler une dépendance positive forte sur la gueue de distribution.

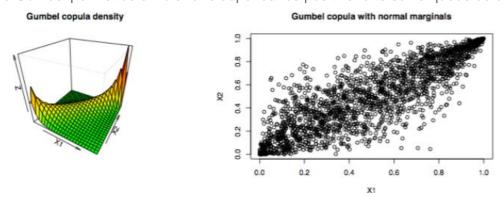


Figure 3 : Copule Gaussien, Eric PRADIER [2011], Théorie des copules et application à la VaR.

D'autres copules archimédiennes existent, la copule de Frank permet de simuler des lois symétriques dans la queue inférieure et supérieure. La copule de Clayton permet de simuler une dépendance positive forte sur la queue inférieure de la distribution (événements de faible intensité).

1.1.11 Sélection du modèle

Pour certains périls, la compagnie peut mettre en œuvre ou acquérir plusieurs modèles. Les modèles peuvent présenter des résultats différents en fonction des hypothèses, des approches retenues.

Cette étape de sélection permet d'objectiver le choix d'un modèle dit 'meilleur modèle' lorsqu'il y en a plusieurs. Le 'meilleur modèle' est celui qui permet de reproduire au mieux le péril sur la base des critères qualitatifs et quantitatifs prédéfinis (cf Annexe 3, modélisation tempête, grêle, neige et gestion des dépendances, section sélection d'un modèle).

Concrètement, les modèles sont notés selon leurs performances aux tests statistiques d'ajustement, et leurs capacités à reproduire des événements ou de la charge historique (critères quantitatifs).

1.2 Couverture des risques par la réassurance traditionnelle

La réassurance permet à une compagnie de réduire l'aléa et de mieux maitriser le risque. Nous présenterons dans cette partie quelques éléments sur la réassurance traditionnelle, c'est-à-dire celle qui fait intervenir un réassureur, puis nous dresserons un panorama des principaux mécanismes de couverture de réassurance.

Dans cette partie, nous nous appuierons principalement sur l'ouvrage 'La réassurance – Approche technique' de BLONDEAU et PARTRAT [2003].

1.2.1 La réassurance traditionnelle et son marché

La réassurance traditionnelle est une opération par laquelle une société d'assurance (ou cédante), s'assure auprès d'un réassureur pour tout ou partie des risques qu'elle a pris en charge en contrepartie du versement d'une prime (prime de réassurance).

Elle permet à la cédante de réduire le montant et la volatilité des sinistres.

La réassurance permet à une cédante de transférer toutes sortes de risques. Les risques atypiques avec peu ou pas d'historiques comme le risque terrorisme par exemple peuvent être cédé. Il existe par ailleurs des protections contre les gros risques comme le risque tempête par exemple et des protections contre les petits risques comme le risque dégâts des eaux.

Il existe un véritable marché pour la réassurance (cf. Annexe, 4 marché de la réassurance).

1.2.2 Les acteurs d'une opération de réassurance traditionnelle

Dans une opération de réassurance, le réassureur (ou cessionnaire) prend en charge une partie des risques souscrits par l'assureur (la cédante) auprès de ses assurés en contrepartie d'une prime.



Figure 4 : Réassurance traditionnelle

La cédante est la compagnie d'assurance qui cède ses risques.

Le réassureur s'engage à rembourser à l'assureur en cas de réalisation du risque, la partie des sommes versées au titre des sinistres sur lesquels il est engagé. En contrepartie, il perçoit une portion des primes versées par le ou les assurés appelée prime de réassurance.

Le courtier de réassurance est chargé par la cédante (son client), de négocier et placer ses programmes de réassurance auprès de compagnies de réassurance. Le courtier est un intermédiaire qui reçoit une commission de courtage.

Le recours à un courtier dans une opération de réassurance n'est pas systématique.

Le courtier de réassurance n'est pas solidaire des engagements du réassureur auprès de la cédante. Il reste tenu par un devoir de conseil envers celle-ci sur le risque de crédit et de défaillance des réassureurs. Le courtier peut aussi tenir la gestion comptable de réassurance.

1.2.3 Intérêt de la réassurance pour la cédante

La réassurance est une opération de transferts de risque entre un réassureur et une cédante. La réassurance présente de multiples intérêts pour la cédante.

La réassurance se pose comme alternative aux capitaux propres en diminuant le besoin en capital. Elle permet de protéger le résultat et les fonds propres en réduisant la volatilité des risques souscrits. Le réassureur peut proposer différentes couvertures de réassurance flexibles permettant de s'adapter au mieux aux besoins de la cédante.

La cédante dispose d'une plus grande capacité et d'une sûreté financière avec le recours à la réassurance, ce qui lui permettra de souscrire plus d'affaires et d'augmenter sa capacité financière.

La réassurance limite l'impact des provisions de sinistres sur la marge de solvabilité, ce qui peut permettre de réduire les effets sur le capital réglementaire (SCR).

La réassurance présente d'autres avantages pour la cédante, en lui fournissant une assistance technique. Les réassureurs sont des experts des risques qui ont par moment une meilleure connaissance du risque que l'assureur lui-même (risques catastrophes, pandémie, Cyber...). Les cédantes ont souvent recours à l'assistance du réassureur pour mettre en place un nouveau produit, l'expérience du réassureur (et la vision globale du réassureur) permet d'anticiper les éventuelles dérives (vision de marché des réassureurs).

L'engagement entre une cédante et un réassureur est formalisé par un traité de réassurance.

La nature des risques à céder est précisée dans le traité. Un événement dans un traité doit faire l'objet d'une cause commune (tempête par exemple), doit impacter plusieurs polices en un temps limité et sur un territoire donné. Un événement est précisé via des clauses horaires (durée de l'événement), clauses géographique (territorialité), types de polices couvertes (cf. Annexe, 5 Définition d'un événement en réassurance).

Il existe d'autres aspects juridiques précisant la nature des relations entre réassureur et cédante, on parle de formes de réassurance pour préciser le caractère obligatoire, facultative et facultative-obligatoire. Les formes de réassurance sont précisées en annexe (cf Annexe, 6 formes de réassurance).

1.2.4 Les principaux types de couvertures de réassurance

Par la suite, nous nous concentrerons sur la réassurance obligatoire caractérisée par un traité liant l'assureur et le réassureur. La cédante est obligée de céder et le réassureur d'assumer une part bien précise des risques assurés par la cédante, ce type de couverture est plus simple à gérer pour la cédante comme pour le réassureur.

Les couvertures de réassurance peuvent prendre deux formes :

- La réassurance proportionnelle ;
- La réassurance non-proportionnelle.

La réassurance proportionnelle correspond à un partage proportionnel des primes et des sinistres entre l'assureur et le réassureur.

Dans la réassurance non proportionnelle, il n'y a pas de lien de proportionnalité entre primes et les sinistres cédés. Le réassureur évalue la prime cédée sur la base de son estimation du coût du risque, elle est spécifique à chaque réassureur (basée sur l'espérance de la sinistralité cédée et des chargements pour frais et pour risques).

Chaque forme de réassurance dispose de plusieurs types de couvertures :



Figure 5 : Types de couverture

L'Excédent de sinistre (XS) :

Le XS consiste à transférer au réassureur les événements et/ ou des sinistres uniquement au-delà d'un montant convenu à l'avance (priorité) jusqu'à un certain seuil (dit 'portée').

Le réassureur couvre donc les risques de pointes, ceux dépassant la priorité. La prime de réassurance est calculée de manière indépendante par rapport à la prime d'assurance.

Exemple d'un 200 XS 100 (Portée XS Priorité) :

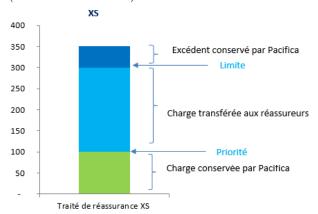


Figure 6: XS

La forme XS permet de transférer un risque de pointe aux réassureurs, et elle permet de réduire la volatilité.

La charge cédée aux réassureurs d'un traité en XS est la suivante :

S = min(max(Charge - Priorité, 0), Limite - Priorité) = min(max(Charge - Prioritée, 0), Portée).

Les XS sont généralement utilisés pour se prémunir contre des événements et/ ou sur des sinistres de forte intensité.

Le principal inconvénient des couvertures XS est de ne pas protéger la sinistralité attritionnelle.

Le Stop Loss (SL):

Le SL consiste à transférer au réassureur une charge cumulée au-delà d'un montant convenu à l'avance (priorité) jusqu'à un certain seuil (dit 'portée').

Le réassureur couvre donc une dérive de la charge cumulée (petits et gros sinistres). La prime de réassurance est calculée de manière indépendante par rapport à la prime d'assurance.

Les bornes des traités en SL sont souvent exprimées en fonction de ratio de primes ou de S/P (sinistres sur primes)

Exemple d'un 200% SL 100% (Portée XS Priorité, on suppose des primes à 200)

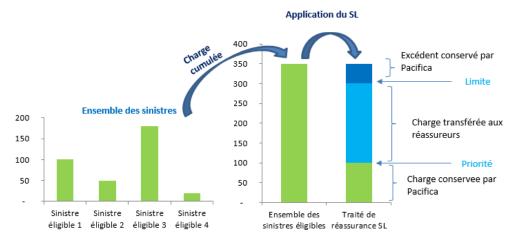


Figure 7 : SL La charge cédée aux réassureurs d'un traité en SL est la suivante :

 $S = min(max(\sum_{i=1}^{N} Sinistre \, \'eligible \, i - Priorit\'ee, \, 0), Port\'ee).$

Les SL sont généralement utilisés pour couvrir une branche d'activité ou l'ensemble de la société.

Quote Part (QP):

Le QP consiste à transférer au réassureur de la même manière les primes et les sinistres.

L'assureur cède une fraction (taux de cession q) de chaque prime au réassureur, le réassureur prend en charge la même proportion de chaque sinistre et il verse une commission de réassurance correspondant aux frais de gestion assumés par la cédante.

Exemple d'un QP à 33% :

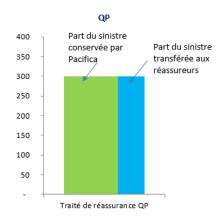


Figure 8 : Quote part La charge cédée aux réassureurs d'un traité en QP est la suivante : S = Sinistre éligible * q. La prime cédée aux réassureurs d'un traité en QP est la suivante : Prime cédée = Prime * q.

Les assureurs utilisent ces couvertures pour couvrir des risques indépendamment de leur intensité sur un périmètre précis. Cette solution offre une grande simplicité de gestion.

Excèdent de plein (surplus) :

Le surplus consiste à réaliser un quote part pour chaque police assurée en fonction du capital assuré.

Le niveau du taux de cession, appliqué sur les primes et les sinistres, est spécifique à chaque police i, il dépend du capital assuré et du niveau de l'excèdent de plein :

Taux de cession
$$i = \frac{\text{Capital assur\'e } i - Plein de r\'etention}{\text{Capital assur\'e } i} = \frac{\text{Exc\'edent de plein}}{\text{Capital assur\'e } i}$$

L'assureur cède une fraction (taux de cession qi) de la prime associée à la police i au réassureur, le réassureur prend en charge la même proportion de chaque sinistre.

Exemple avec un plein de rétention à 100m€ :

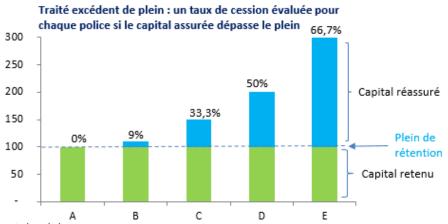


Figure 9 : Excèdent de plein

La charge cédée aux réassureurs d'un traité en surplus est la suivante :

$$S = \sum_{i=1}^{N} Sinistre \, éligible \, i * Taux \, de \, cession \, i$$
.

Le niveau de prime de réassurance correspond au niveau de cession évaluée pour chaque prime. Les surplus permettent à l'assureur de conserver un engagement limité sur les gros risques, tout en conservant les petits risques.

Le principal inconvénient du surplus est sa lourdeur en termes de gestion liée aux taux de cession différentiés (administratif, comptable...). En outre, il nécessite de connaître le capital assuré de chaque risque ce qui en France est rarement le cas pour les risques de particuliers.

La couverture en Surplus n'est pas utilisée chez PACIFICA.

Options de traités Avantages/inconvénients :

Ci-dessous, nous présentons les principaux avantages et inconvénients des différentes formes de traités :

liailos.		
Traités (Risques couverts)	Avantages	Inconvénients
XS par sinistre (RC, RC auto,) ou par événements (tempête,)	Les XS sont appliqués pour se prémunir contre des événements et/ ou sur des sinistres de fortes importances.	Les XS n'agissent pas sur la sinistralité attritionnelle.
Stop Loss (Tous)	Les SL sont appliqués pour couvrir une branche d'activité ou l'ensemble de la société	Ces traités sont très coûteux
Quote part (Tous)	Les assureurs utilisent ces couvertures pour couvrir des risques indépendamment de leur intensité sur un périmètre précis. Cette solution offre une grande simplicité de gestion.	L'efficacité est conditionnée par un niveau de cession élevé.
Surplus (risques avec niveau d'engagement (plein) clairement établi)	Il permet à l'assureur de conserver un engagement limité tout en ne cédant pas les petits risques pour	L'efficacité est conditionnée par un

Tableau 1 : Avantages / inconvénients des traités

Autres types de couvertures :

D'autres formes de couvertures réassurance existent, la réassurance paramétrique par exemple est une couverture ou l'indemnisation du réassureur est définie à priori.

Le montant de l'indemnité du réassureur n'est pas fonction de la perte réelle par la cédante, mais d'un indice où d'une modélisation des pertes subies par la cédante.

Le transfert de portefeuille sinistres 'Loss Porfolio transfer' est une couverture ou la cédante transfère à un réassureur la gestion des sinistres en suspens du portefeuille. Cependant, les engagements de la cédante envers ses clients demeurent.

1.3 Limites du marché de la réassurance traditionnelle

Le marché de la réassurance présente quelques limites spécifiques. Ces limites sont principalement liées aux caractéristiques propres du marché de la réassurance qui est cyclique et concentré.

1.3.1 Cyclicité du marché

Le Marché de la réassurance est cyclique, ainsi les prix pour la cédante peuvent fluctuer sur une période de quelques années indépendamment de l'appréciation des risques. Un cycle correspond à une tendance à la hausse ou à la baisse des primes sur quelques années.

Nous pouvons par exemple observer ces cycles de réassurance avec le suivi de l'indice global property catastrophe ROL index proposé par Guy Carpenter [2019]. Guy Carpenter propose aussi un indice par zone géographique (US, Asie Pacifique, Europe, Royaume Uni, cf. Annexe 7 Regional Property Catastrophe ROL Index).

Le global property catastrophe ROL index est un indice ajusté permettant d'évaluer l'évolution des coûts de la réassurance catastrophe dommage en fonction du niveau de protection (base 100 en 1990) au niveau monde. Cet indice est calculé annuellement au 1er janvier.

Le ROL (Rate on line) est un indicateur du prix de la tranche : $ROL = \frac{Prime\ commerciale}{Montant\ de\ la\ garantie}$. Cet indicateur est très utilisé pour comparer le prix des couvertures par rapport au niveau de protection apporté. L'ajustement permet de lisser les hausses de prime liées à l'inflation.

Sur le Global property catastrophe ROL, nous constatons des augmentations peu après des événements majeurs comme le pic de 1993 post Andrew en 1992, pic en 2002 post World Trade Center en 2001.

Ces pics correspondent à des périodes de sous capacité avec des prix très élevés.

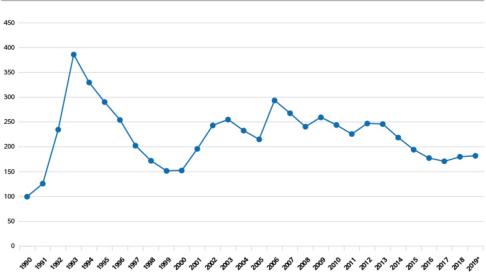


Figure 10 : Global property Catastrophe ROL index: 1990-2019, Guy Carpenter 2019 [2019]

De nombreux articles montrent l'existence de ces cycles en cherchant un lien entre les primes de réassurance et la tendance et ce indépendamment de l'appréciation du risque.

MEIER Ursina et OUTREVILLE François [2003] ont analysé l'existence d'un cycle de souscription et d'un cycle dans les loss-ratios en assurance pour la France, l'Allemagne et la Suisse sur la période 1982-2001 en relation avec les prix de réassurance en Europe durant la même période.

1.3.2 Une concentration peu favorable aux assureurs

La concentration et la consolidation du marché de la reassurance s'est traduite par une réduction des "faiseurs de prix" c'est-à-dire des réassureurs capable de coter.

La concentration du marché de la réassurance génère une augmentation des expositions des principaux réassureurs aux évènements de très grande importance.

Ainsi, les attentats du World Trade Center (septembre 2001) ont provoqué des pertes importantes pour 6 réassureurs ainsi que de nombreuses résiliations de contrats de réassurance couvrant le risque terroriste. Ce retrait soudain par crainte d'un risque "systémique" a grandement perturbé l'activité des assureurs.

1.4 Mise en œuvre d'un DFA pour la réassurance

L'analyse financière dynamique peut être présentée comme la modélisation stochastique du passif et de l'actif (générateurs de scénarios économiques, investissements, ...), de l'entreprise sur un horizon de temps donné. Nous pouvons citer le mémoire d'actuariat de Xavier AGENOS [2010] qui aborde quelques problématiques spécifiques à la réalisation d'un DFA.

Cet outil est utilisé comme aide à la décision pour la stratégie de réassurance et d'investissement. Par la suite, nous nous concentrerons sur la partie liée à la réassurance.

Le DFA permet de simuler stochastiquement des années de sinistralité correspondant aux caractéristiques de l'entreprise. Ces années simulées sont basées sur les modèles de sinistralité, leurs dépendances, et la structure de réassurance.

En sortie, le DFA permet d'obtenir des indicateurs statistiques de risques comme les distributions, les volatilités. ...

Le DFA intègre la modélisation des sinistres graves, attritionnels et celles des événements. L'agrégation des modèles est faîtes via l'intégration de la structure de dépendance copule ou corrélation linéaire (CADOUX David et LOIZEAU Jean Marc [2004]).

La mesure des gains de diversification est réalisée après intégration de la structure de dépendance (Cf. Annexe, 8 Gains de diversification).

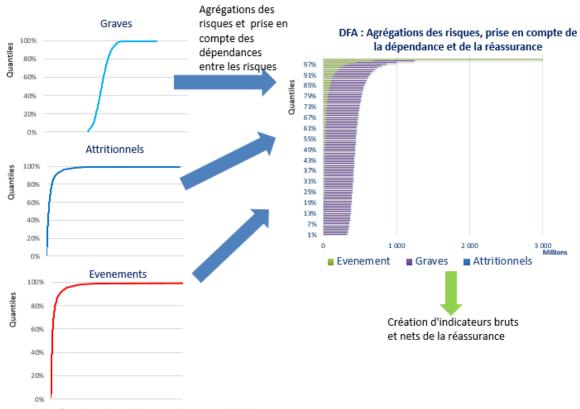


Figure 11 : Agrégation des risques dans un DFA

L'optimisation de la couverture de réassurance peut être réalisé et évalué via le DFA. Il faut pour cela intégrer les couvertures de réassurance et évaluer les indicateurs avant et après application de la réassurance.

En sortie du modèle, on obtient des distributions de la charge brute, cédée et nette de réassurance permettant de calculer toutes sortes d'indicateurs. Ces indicateurs permettent d'évaluer la couverture de réassurance.

2 Réassurance alternative

Le marché de la réassurance est un marché très concentré avec 10 réassureurs qui se partagent plus de 69% des primes mondiales de réassurance en 2017 (cf. 1-3-1).

L'exposition croisée qui découle de la concentration des acteurs peut avoir de lourdes conséquences sur le marché avec une réduction des capacités, et même la création d'un risque systémique en cas de réalisation d'un événement majeur.

Dans les années 90, les événements ouragan Andrew (1992) et le tremblement de terre de Northrige (1994) ont eu un impact direct sur la prime de réassurance non vie au niveau mondial et sur la disponibilité des couvertures (cf. 1-4-1).

Face à cette situation, les assureurs et réassureurs ont cherché des solutions pour obtenir plus de capacité, pour cela ils se sont rapprochés des marchés financiers.

Les transferts de risque utilisés par les assureurs et par les réassureurs pour accéder à ces capacités financières sont appelés mécanisme alternatif de transfert de risque ou ILS (Insurance Linked Securities).

Les ILS désignent les opérations mais peuvent aussi désigner par extension les acteurs de ce type d'opérations. On distingue les opérations d'ILS en fonction des montages associés :

- Titrisation (cat bonds, mortality bond, longevity bond, ...),
- Réassurance collatéralisée (réassurance avec collatéral, sidecar)
- Cat Swap
- Industry Loss Warranties.

D'autres opérations ILS existent, elles sont à mi-chemin entre la réassurance traditionnelle et la réassurance alternative, on parle de réassurance frontée.

Par la suite, nous présenterons ces opérations.

2.1 Marché de la réassurance

2.1.1 Capacités alternatives vs capacités traditionnelles

A la suite de l'ouragan Andrew en 1992, les capacités de réassurance non vie sont devenues chères et rares sur le marché de la réassurance non vie provoquant une hausse des prix très importante sur les capacités 'ouragans'.

L'ouragan Andrew en 1992 a provoqué la faillite de 11 compagnies d'assurance, et a mis en péril de nombreux réassureurs, démontrant les limites du système d'assurance ainsi que la nécessité de mettre en place des capacités complémentaires.

Ces capacités complémentaires ont été apporté par les marchés financiers, d'abord sur des opérations d'assurance non vie avant de s'étendre sur d'autres opérations d'assurance vie.

Sur le marché de la réassurance, on distingue la capacité fournie par la réassurance traditionnelle et la capacité fournie par les marchés financiers.

La capacité fournie par les marchés financiers est aussi appelée capacité alternative.

A fin septembre 2019, le capital fourni par la réassurance était estimé à 625 Milliards de dollars. La réassurance traditionnelle apportait au 3^{ème} trimestre 2019 près de 85% des capacités du marché de la réassurance contre 15% pour la réassurance alternative.

La part de la réassurance alternative peut paraître faible mais sa contribution croit d'année en année, En 2006, la réassurance alternative fournissait seulement 4,5% de la capacité de la réassurance en 2006 contre 15% au 3ème trimestre 2019.

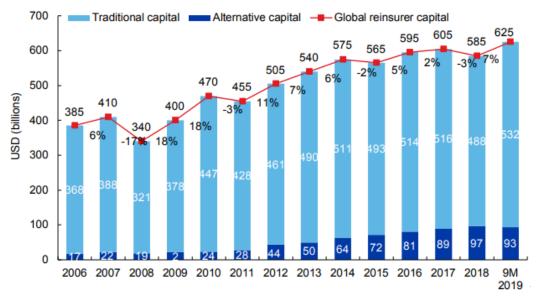


Figure 12: AON BENFIELD, Reinsurance Market outlook, janvier 2020 [2020]

Les capacités alternatives sont souvent utilisées dans les tranches hautes des traités en XS. Les tranches hautes correspondent à des capacités importantes et à des ROL (Rate On line) faible.

2.1.2 Convergence entre marchés financiers et marché de la réassurance

Le développement de la réassurance alternative correspond à de nombreux phénomènes de convergence entre les marchés financiers et le marché de la réassurance.

Au niveau des compagnies d'assurance, les managers ont une culture de plus en plus financière. L'injection de capitaux en provenance d'acteur financiers dans le secteur de l'assurance a permis une prise de contrôle par les 'financiers' des compagnies d'assurance (cf DUBREUIL [2009]). Le rachat de General Re par Berkshire en 1998 en est un exemple.

Le développement des bancassureurs a accentué ce phénomène de convergence avec la constitution par les groupes bancaires de filiales d'assurance vie puis d'assurance non vie. Depuis quelques années, les produits d'assurance sont distribués par les réseaux des guichets bancaires. A l'échelle française, nous pouvons citer la création de PACIFICA (assureur non vie) par le groupe Crédit Agricole.

Informatiquement, la modélisation des évènements catastrophiques a été amélioré par des sociétés spécialisées dans la modélisation de catastrophe naturelle. Les principales sociétés de modélisation ont permis ces améliorations : AIR a été créé en 1987, RMS en 1989 et EQECAT en 1994.

Ces sociétés ont permis d'avoir une valorisation précise et indépendante des catastrophes pour un niveau de risque donné c'est-à-dire un niveau de quantile. Elles ont permis de donner de la visibilité aux investisseurs sur les risques catastrophe.

Les modèles tempêtes de ces sociétés évaluent pour un certain aléa c'est-à-dire pour une certaine vitesse du vent, les conséquences financières pour un portefeuille d'assurance géo localisé.

Le rôle croissant des autorités de contrôle, des cabinets de conseils, d'audit et des agences de notations a aussi contribué aux rapprochements.

La mise en place des normes Bâle en banque et des normes Solvabilité en assurance d'une part ainsi que la création en 2010 de l'autorité de contrôle prudentiel et de résolution (ACPR) ont amplifié la convergence entre assurance et banque.

2.1.3 Les principales formes de réassurance alternative

Les capacités alternatives offertes par les marchés financiers, qui sont utilisées par les assureurs et par les réassureurs sont appelées ILS (Insurance Linked Securities).

On distingue plusieurs sources de capacité alternative selon le type d'opération : La titrisation, la réassurance collétaralisée, les sidecars, les Industry Loss Waranties et les Cat swap porfolio.

La titrisation est caractérisée par la mise en place de bonds.

Les bonds (cat bonds, mortality bond, ...) sont des titres de créance qui permettent le transfert d'un risque d'un assureur (dit 'sponsor') vers un investisseur.

La création de ce titre nécessite la mise en place d'une entité le FCC (fonds commun de créances, entité légale crée par le sponsor) ou SPV ('special purpose vehicle') qui émet des titres à destination des investisseurs.

Les investisseurs déposent un nominal dans un compte sécurisé du FCC en contrepartie des titres. Le nominal est investi par le FCC dans un investissement sans risque. Il est bloqué sur la durée de l'investissement.

Pour l'investisseur, le paiement du coupon et le remboursement du nominal sont conditionnés par la survenance et l'intensité du risque du sous-jacent (tremblement de terre, tempête, mortalité...).

Le montant du coupon est fixé à la signature. Le remboursement du nominal est indexé sur l'indicateur ou 'trigger' associé au sous-jacent.

Le 'trigger' peut dépendre de la sinistralité de la cédante, de la sinistralité marché, de résultat de modèle, d'indices météorologique ou encore d'indicateur mixte.

Le sponsor paye une prime au FCC afin de rémunérer le dépôt de l'investisseur.

Il existe un marché primaire (émission de titre) et secondaire (échange de titre) pour ce type d'opération.

La réassurance collatéralisée prend la même forme que la réassurance traditionnelle avec en lieu et place d'un réassureur, un contrat de réassurance dit 'trust agreement'.

Le 'trust agreement' est un contrat qui permet de transformer le traité de réassurance en parts pour les fonds d'investissement dit fonds ILS.

Ce schéma est une opération de gré à gré entre un fonds et un sponsor, elle nécessite peu d'acteurs par rapport à une opération de cat bonds.

Les Sidecars sont des structures financières indépendantes qui permettent aux cédantes d'augmenter leurs capacités de souscription sans pour autant procéder à une augmentation de capital. Ce sont des structures temporaires dont les gains et les pertes sont partagés par le sponsor et par un tiers investisseur.

Le schéma d'un sidecar est identique à celui de la réassurance collatéralisée avec le recours à un 'trust agreement'.

Le traité de réassurance est celui d'un traité en quote-part avec une capacité limitée au lieu d'un XS dans le cas d'une réassurance collatéralisée.

La spécificité de ces couvertures modère le risque de base mais laisse la cédante responsable de ses pertes au-delà de la limite du quote-part.

Les Industry Loss Warranties (ILW) sont des protections dont le déclenchement s'effectue en fonction des pertes assurées pour l'ensemble d'un secteur, et non celles d'une seule entreprise.

L'estimation des pertes attendues est définie à partir d'un indice de perte marché. Dans ce schéma, la cédante est indemnisée si les pertes pour l'ensemble du marché dépassent un certain niveau (cf. Annexe, 9 Réassurance alternative non vie).

Le niveau d'indemnisation de la cédante en cas d'événement majeur est défini en amont de l'opération.

Le Cat Swap portfolio est un échange entre deux cédantes (ou entre une cédante et un investisseur pour le Financial cat swap).

Les deux parties concluent un accord pour échanger entre elles un portefeuille d'expositions catastrophe contre une prime pendant une période de temps donnée.

L'estimation des pertes attendues est définie à partir d'un indice de perte marché. Cette couverture est plus simple à mettre en place qu'un ILW.

Ce type d'opération est très rare sur le marché.

La réassurance collatéralisée représentait d'après Aon Benfield au 3ème trimestre 2019, plus de 50% de la capacité alternative. Les cat bondss représentaient près d'un tiers des capacités alternatives au 3ème trimestre 2019. Les autres types d'ILS représentait près de 17% de la capacité alternative.

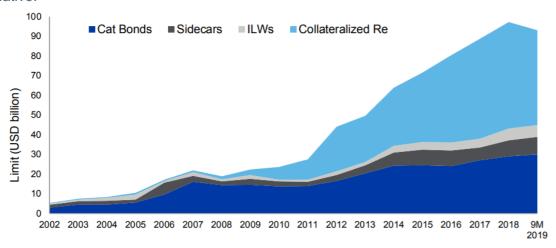


Figure 13: AON BENFIELD, Reinsurance Market outlook, janvier 2020 [2020]

Par la suite, nous préciserons les caractéristiques des opérations de réassurance titrisée et de réassurance collatéralisée.

Les opérations Sidecars, Industry Loss Warranties et Cat Swap moins usitées sont décrites en annexe (cf. Annexe, 9 Réassurance alternative non vie).

Ces opérations représentaient moins de 20% des capacités alternatives en 2019.

2.2 Réassurance titrisée : transformation d'un risque assurantiel en risque échangeable sur les marchés financiers

La titrisation est un montage financier qui consiste à transformer une créance en général peu liquide en valeurs mobilières négociables et facilement cessibles sur le marché des capitaux.

Cette technique est utilisée depuis les années 30 dans la banque. Elle a permis aux banques d'avoir recours de nouvelles sources de financement via un accès plus simple aux capacités du marché de capitaux.

Cette technique permet à la société qui le pratique de disposer de nouvelles sources de financement.

2.2.1 Titrisation en assurance

Le concept de titrisation en assurance a vu le jour dans les années 1990 sous l'effet d'une forte pression sur les capacités, d'abord limité aux opérations d'assurance non vie, cette forme de transfert a été par la suite étendue à des opérations d'assurance vie.

La titrisation s'opère en regroupant un portefeuille (c'est-à-dire un lot) de créances de nature similaire (sinistres de masse, sinistre événementielles, réserves, risque de mortalité).

- Le sponsor (assureur ou réassureur) c'est-à-dire l'entreprise qui porte initialement le risque et qui souhaite le transférer aux marchés financiers, vend son portefeuille de créances à une entité créée à cet effet, l'entité est nommée fonds commun de créances (FCC) ou special purpose vehicle (SPV en anglais).
- Le FCC est une entité légale crée par le sponsor qui a pour but de transformer les créances du sponsor et de les revendre sous forme d'obligations à des investisseurs. Le FCC est créée à chaque opération de titrisation, elle est isolée de la cédante et du créancier afin de protéger l'investisseur et la cédante. Cela permet de palier une éventuelle insolvabilité de l'investisseur ou de la cédante. Le FCC émet alors des titres représentatifs de ce portefeuille. Les titres (obligations, billets de trésorerie...) représentent chacun une fraction du portefeuille de créances titrisées et donnent le droit aux investisseurs de recevoir les paiements des créances sous forme d'intérêts et de remboursement de principal.

Exemple d'opération de titrisation :

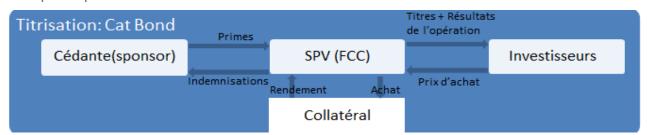


Figure 14: Exemple de titrisation

Pour l'investisseur, le montant des créances est conditionné par la sinistralité du portefeuille et par la protection apportée par le FCC.

La perte pour l'investisseur est évaluée à partir d'un indicateur dit 'trigger'. Cet indicateur conditionne la perte de coupon et/ou du capital pour l'investisseur mais aussi le niveau d'indemnisation pour l'assureur :

- Si l'indicateur est inférieur à un seuil, l'investisseur recevra le paiement des intérêts (coupons) et le principal.
- Si l'indicateur est supérieur à un seuil, l'investisseur perdra partiellement ou totalement une partie de son investissement initial et les intérêts seront réduits ou nuls. L'investissement initial et les intérêts seront dans ce cas utilisés pour payer le sinistre.

L'indicateur est dit 'déclencheur' ou trigger, il dépend de la nature du sous-jacent et il peut dépendre de la sinistralité de la cédante, de la sinistralité marché, de résultat de modèle ou encore d'indicateur exogène.

Afin de garantir la protection dans le temps, le FCC place l'argent fourni par l'investisseur et la prime versée par le sponsor dans un collatéral. Le collatéral est un actif sûr qui permet de dédommager l'assureur en cas de sinistre et de rembourser l'investisseur en cas de non réalisation du sinistre. Le collatéral réduit le risque de contrepartie.

2.2.2 Acteurs et calendrier d'une opération

La titrisation doit permettre de transformer un risque d'assurance en risque échangeable sur des marchés. Le mécanisme de titrisation est complexe, nécessitant le recours à de nombreux acteurs.

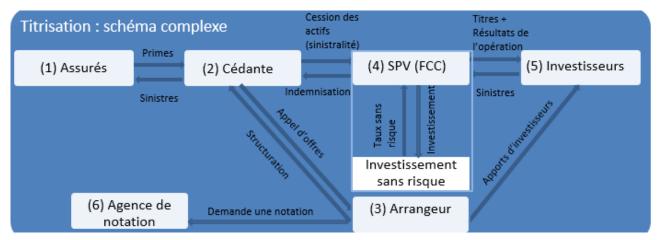


Figure 15 : Exemple de titrisation complexe

Ce schéma présente une partie du mécanisme, chaque opération présente sa propre complexité.

- (1) L'assuré est le particulier (ou l'entreprise) qui souscrit une police d'assurance.
- (2) L'assureur ou la cédante est à l'initiative de la titrisation. La cédante cède ses créances au Fonds Commun de Créance (FCC) et reçoit en contrepartie une indemnisation.
- (3) L'arrangeur est une banque d'affaire (ou une maison de titres spécialisée) qui va solliciter les cédants potentiels, imaginer la structure de l'opération de titrisation afin d'atteindre les objectifs du cédant. L'arrangeur doit aussi veiller à ce que le produit rencontre une demande. L'arrangeur demande un avis de notation auprès des agences et recherche des opportunités de rehaussement.

Le but de l'arrangeur est de créer la structure de l'opération, d'en étudier la faisabilité, de définir les contours du fonds commun de créance (FCC) et de trouver des investisseurs. L'arrangeur définit en début d'opération un calendrier type pour la mise en place d'une opération de titrisation. Ce calendrier dépend de la complexité de chaque opération.

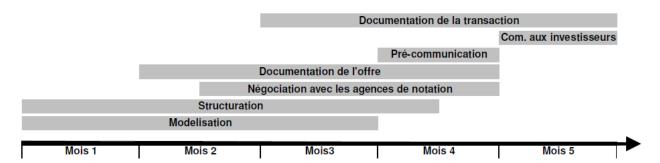


Figure 16 : Planning de 6 mois sur la mise en place d'une opération de titrisation, extrait du mémoire d'actuariat de ARROS Myriam et DELIGNON Bertrand [2009] - Enjeux et perspectives de la titrisation du risque de masse en assurance dommage.

- (4) Le FCC est au centre du mécanisme de titrisation. Le FCC verse une indemnisation à la cédante en cas de sinistralité éligible dépassant le seuil prédéfini. Le FCC permet à l'investisseur d'acheter des 'parts de l'opération'.
- (5) L'investisseur achète et vend des titres. Il existe un marché primaire et secondaire pour ce type d'actifs
- (6) Les agences de notation notent les titres émis pour les investisseurs. Elles fournissent des analyses du risque de crédit et la surveillance du crédit. La valorisation du risque est confiée par l'arrangeur à des agences de notations qui doivent rendre le nouveau titre comparable à des titres existants en lui attribuant une note.

Il y a une différence importante entre la méthode utilisée pour noter les créances 'classiques', par rapport à celle utilisée pour noter les créances titrisées : dans le premier cas, les obligations créées sont notées a posteriori, tandis que dans le deuxième cas, elles sont notées a priori.

Dans ce cas, les titres sont émis de manière pour correspondre à un profil de risque prédéfini. Les titres sont ajustés par l'arrangeur pour atteindre cet objectif.

En fonction de la complexité, d'autres acteurs peuvent intervenir, ils n'ont pas été intégré au schéma. Le rôle des autres acteurs (société de gestion, réhausseur de crédit, dépositaire, agent payeur) est défini en annexe (cf. Annexe, 10 Autres acteurs d'une opération de titrisation).

D'autres acteurs interviennent à plusieurs moments dans le processus pour évaluer l'opération :

- L'autorité de surveillance par exemple l'ACPR doit surveiller et autoriser ce genre d'opérations. Elle veuille à la conformité de l'opération par rapport à la réglementation.
- Les avocats sont intégrés au processus, ils réalisent la structuration juridique des opérations, ainsi ils veuillent à respecter les juridictions impactées (en fonction de la localisation des cédants, débiteurs).
- Les actuaires évaluent l'intérêt économique d'une telle opération par rapport à une opération de réassurance traditionnelle.
- Les auditeurs externes vont contrôler la fiabilité du processus.

Le recours à ces acteurs entraine des coûts d'entrée important qu'il convient de mesurer avant de réaliser ce type d'opération. La mise en place d'un FCC est coûteuse pour la cédante.

2.2.3 Intérêt de la titrisation pour la cédante : une alternative à la réassurance traditionnelle

La titrisation en assurance a permis de répondre à plusieurs problématiques posées par la réassurance : cyclicité du prix en réassurance, problème de capacité, réduction du risque de contrepartie (1-4 Limites du marché de la réassurance traditionnelle).

Nous allons détailler ci-dessous les principaux avantages d'une opération de titrisation du point de vue de la cédante.

Les avantages sont nombreux pour la cédante :

- Le coût du marché des capitaux peut être inférieur aux coûts du marché de la réassurance.
- En cas d'événement de grande ampleur, les risques peuvent être corrélés dans le marché de l'assurance et la réassurance. On parle aussi de cycle pour la réassurance. Le recours aux marchés financiers permet de réduire le risque systémique et d'échapper ainsi aux cycles post événement pour un assureur qui cherche de la capacité.
- La titrisation permet un accès aux marchés des capitaux plus importants que celui de la réassurance, elle offre de nouvelles capacités aux compagnies d'assurance. Par exemple, les ouragans Katrina, Rita et Wilma survenus en 2005 ont engendré des pertes matérielles de \$114 milliards (Swiss Re, 2008) ce qui a grandement ébranlé les assureurs et les réassureurs. En regard, ce montant représentait moins d'un demi pour cent de la taille des marchés boursier et obligataire américains.
- Le collatéral réduit le risque de contrepartie pour la cédante par rapport à la réassurance traditionnelle. Les régulateurs sont très attachés à ce que le collatéral soit égal à 100% de la capacité.
 Avec la réassurance traditionnelle, l'indemnisation est soumise à la condition de

solvabilité du réassureur, ce qui en cas de défaut laisse l'assureur seul responsable de l'indemnisation.

Le collatéral est un actif sûr, souvent placé sur des actifs sans risque, qui joue le rôle de garantie pour l'assureur et pour l'investisseur. A noter, qu'il existe 3 familles de collatéral, les lettres de crédit émises par les banques, les comptes titres et les fonds monétaires.

Le collatéral permet de maintenir la continuité de la couverture dans le temps.

- La gestion du collatéral est indépendante du sponsor comme de l'investisseur. Elle est souvent externalisée auprès d'une banque selon des règles établies au début de l'opération. Les règles pour relâcher le collatéral sont spécifiques à chaque opération, un exemple est donné en annexe (cf. Annexe, 11 Exemple de règle pour la commutation du collatéral).
- La gestion du collatéral par une banque n'est pas neutre en termes de risque de contrepartie (The fundamentals of insurance-linked Securities, Ils Team Swiss RE [2012]). Le choix de placement du collatéral peut avoir des conséquences sur le risque de contrepartie.

Jusqu'en 2007, le collatéral pouvait être investi dans des actifs associés à des prêts hypothécaires (Asset-Backet Securities ou ABS) ou des créances associées à des obligations, des prêts ou des fonds (Collateralised debt obligations ou CDO).

Afin d'éviter une baisse de leur valeur, les ABS et les CDO étaient protégés par des couvertures financières dit 'total return swap'.

Le 'total return swap' est un produit dérivé qui permet de transférer l'intégralité de la performance d'un actif (performance ABS ou CDO) en 'échange' d'une référence variable.

La faillite de Lehman Brother en tant qu'acteur de 'total return swap' a provoqué la faillite de 4 cat bonds en 2007.

2.2.4 Avantages pour le porteur de risque (investisseurs)

Pour un investisseur, l'obligation associée à une opération d'assurance permet de diversifier le portefeuille par rapport aux autres actifs.

- Une obligation catastrophe (cf 2.5 cat bonds) est par exemple souvent décorrélée des marchés financiers, car le sous-jacent est très diffèrent de ceux inhérents aux actifs financiers.

Cette hypothèse de corrélation est plus complexe dans les faits, en effet en cas de survenance d'un événement de grande ampleur, on peut supposer que les assureurs et les réassureurs seraient affectés avec de potentiels conséquences sur les marchés financiers.

Pour un investisseur, l'intégration dans le portefeuille d'une obligation catastrophe permet d'augmenter le niveau de diversification du portefeuille donc d'améliorer le portefeuille et ainsi optimiser le couple rendement-risque dans la théorie de Markowitz.

- L'obligation associé à un risque d'assurance peut représenter une couverture à un risque inverse.

Par exemple, on peut imaginer l'intérêt des vendeurs de matériaux de construction pour un titre qui paye des coupons pleins en cas de baisse de la sinistralité dommages aux biens.

Pour les vendeurs de matériaux de construction, cette couverture permet de lisser les résultats. Si on suppose que la sinistralité dommages aux biens est le risque inverse des vendeurs de matériaux de construction.

Cette couverture permet de compenser une baisse d'activité par les coupons en cas de faible sinistralité. En cas de forte sinistralité, les vendeurs de matériaux de construction accepteraient une baisse de coupon.

Par la suite, nous nous concentrerons sur les opérations de cat bonds, mais il existe d'autres formes de titrisation en assurance (cf. Annexe, 12 Autres formes de titrisation en assurance).

Ces opérations restent marginales en comparaison des cat bonds. Les opérations de titrisation 'autre que cat bonds' représentaient seulement 33% des émissions (capacités émises) en 2020 d'après ARTEMIS [2021].



Figure 17: ARTEMIS, Q4 2020 Catastrophe Bond & ILS Market Report, 2021[2021]

2.2.5 Focus sur une opération spécifique de titrisation : le Cat bonds

Les cat bonds sont des obligations émises par les assureurs ou les réassureurs. Elles permettent aux sponsors de transférer les pertes inhérentes à une typologie de catastrophe naturelle (tempête, ouragan) aux investisseurs.

Les Catastrophes ou cat bonds ont permis de faciliter les transferts de risque catastrophe des assureurs, réassureurs vers des investisseurs Elles sont nées après l'ouragan Andrew en 1992 qui a entrainé 11 faillites de compagnies d'assurance.

La première opération de cat bonds ('Act of God' bond) a été émise en 1994 par la Nationwide Insurance Co. of Colombus, Ohio. D'autres opérations plus complexes ont suivi.

Par la suite, nous détaillerons les caractéristiques du cat bonds.

Les cat bonds couvrent en général, les risques assurantiels induits par une catastrophe naturelle (tremblement de terre, tempête...).

Vie d'un cat bond :

L'émission de ces produits financiers permet aux sponsors (compagnies d'assurance ou de réassurance) de se couvrir contre des pertes en cas de survenance de catastrophes naturelles déterminées. Elles prennent la forme d'un traité en XS pour le sponsor dont le risque sous-jacent est un événement climatique.

L'investisseur qui achète des obligations est le porteur de risque.

Les caractéristiques du risque sous-jacent sont précisées à l'investisseur lors de la souscription : risque sous-jacent (tremblement de terre, tempête...), la durée d'engagement (en général comprise entre 3 et 6 ans) et le zone géographique couverte.

Pour l'investisseur, le remboursement du nominal est conditionné par la survenance et l'intensité d'une catastrophe naturelle (tremblement de terre, tempête...). En parallèle, l'investisseur reçoit un coupon.

A la mise en place, les investisseurs déposent un nominal (cash dans le schéma) dans un compte sécurisé du FCC, ce montant est alors investi dans un placement sans risque. Il est bloqué sur la durée de l'investissement.

Le sponsor paye une prime au FCC pour rémunérer le dépôt de l'investisseur.

Le cash et la prime transmissent au SPV sont investis dans un placement sans risque. L'investissement sans risque est aussi appelé collatéral.

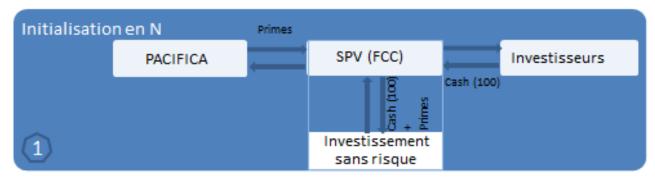


Figure 18: Initialisation du cat bonds

Pendant la durée de vie de l'obligation, le FCC reverse un coupon aux investisseurs.

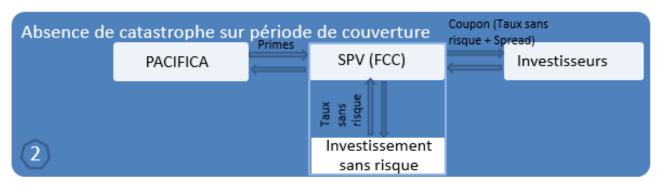


Figure 19 : Cat bonds en fonction de l'absence de catastrophe

En cas de survenance d'un événement, les pertes du sponsor sont compensées par les dépôts de l'investisseur. Les encours seront débloqués au profit de la cédante et lui permettront de couvrir ses pertes.

Pour l'investisseur, le remboursement du nominal sera conditionné par la survenance et l'intensité d'une catastrophe naturelle (tempête, grêle, neige,) sur la période de couverture.

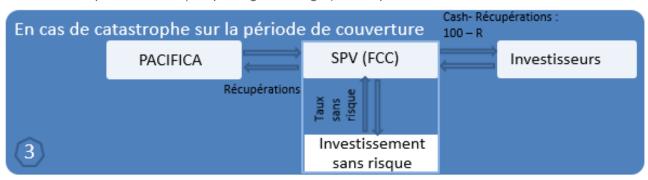


Figure 20: Cat bonds en cas de catastrophe

Déclenchement ou 'trigger' :

La perte pour l'investisseur est évaluée à partir d'un indicateur, dit 'trigger' ou déclencheur. Cet indicateur conditionne la perte de coupon et/ou du capital pour l'investisseur mais aussi le niveau d'indemnisation pour l'assureur.

Plusieurs types de trigger existent, on parle de trigger indemnitaire, paramétrique, modélisé, basé sur les pertes du secteur ou encore trigger mixte.

Dans le cadre d'un trigger 'Indemnitaire', l'investisseur va compenser les pertes réellement subie par l'assureur.

Pour la cédante, ce mécanisme correspond à un traité de réassurance en excèdent de sinistre.

Pour l'investisseur, le risque d'aléa moral est très important avec ce type de couverture.

Afin de protéger l'investisseur et réduire l'aléa moral, il est ainsi courant que l'assureur conserve ce qu'on appelle 'le 1er risque', ce qui correspond à la priorité d'un traité XS dans un contrat de réassurance ou à une franchise dans un contrat d'assurance.

Le trigger 'indemnitaire' nécessite un grand effort de transparence et de documentation pour la cédante. La cédante doit préciser et transmettre aux investisseurs sa méthodologie de calcul de la sinistralité.

C'est le mécanisme privilégié par l'assureur car c'est celui qui réduit le risque de base. Le risque de base est l'écart entre les pertes subies par l'assureur et les pertes éligibles au cat bonds. C'est aussi le trigger le plus utilisé sur le marché.

L'évaluation des pertes peut être longue pour l'investisseur compte tenu : des demandes d'indemnisation post-événement, de la lenteur de liquidation de certains risques, ...

Le trigger peut aussi être basé sur un modèle, les pertes sont dans ce cas calculées à partir d'un modèle.

Dans ce cadre, un montant théorique est obtenu à partir des caractéristiques physiques d'un événement. Ces caractéristiques sont ensuite implémentées dans le modèle marché afin d'avoir l'impact théorique d'un tel événement sur le portefeuille de la cédante.

Le calcul de la perte est généralement confié à une agence de modélisation indépendante. On peut recourir par exemple à un modèle RMS, AIR, RQE et à une modélisation par les mêmes agences dans le cadre des tempêtes européennes.

Pour l'investisseur, ce mécanisme réduit le risque moral et les demandes sont généralement payées rapidement. Le calcul des pertes est rapide pour l'investisseur, cependant la cédante est exposée à un risque de base avec ce trigger.

Le trigger peut être basé sur une approche paramétrique, tel que la vitesse du vent par exemple. En cas de vitesse de vent supérieure à un seuil, la cédante sera indemnisée.

Cette indemnisation se fera sur la base de la vitesse de vent et de courbe de destruction définie en amont de l'opération. Les courbes de destruction associent une vitesse de vent à un taux de destruction c'est-à-dire à des pertes lorsque nous multiplions les taux de destruction aux sommes assurées.

L'indemnisation de la cédante dépend de la vitesse du vent, elle est indépendante des pertes réelles. Pour la cédante, le risque de base est important en cas de non corrélation entre les pertes de l'indice et ses propres pertes.

Le trigger peut être basé sur des pertes de secteur.

L'évaluation est réalisée à partir des estimations des pertes attendues pour un secteur donné et non celles d'une seule entreprise.

Par exemple, pour les catastrophes naturelles européennes, il est courant d'utiliser les indicateurs marché crées par la société PERILS.

PERILS est une société indépendante qui collecte les pertes assurantielles du marché.

La perte pour la cédante est évaluée à partir de l'application d'une part de marché sur les pertes 'globales'.

Cette structure présente plusieurs avantages pour l'investisseur comme la transparence et la rapidité. Le coût est rapidement évalué.

Pour les triggers paramétrique, pertes de secteur, la cédante fournit peu d'information sur son activité (cf. ci-dessous).

Le trigger peut être basé sur une pondération entre plusieurs triggers, on parle de 'trigger mixte'. Chaque déclencheur a un impact sur le processus de structuration, sur les cash flows futurs et sur la prime de risque demandée par l'investisseur.

Nous avons représenté les déclencheurs en fonction de 4 critères : Le risque de base, le temps de récupération, la divulgation d'informations et la prime de risque.

- Le risque de base correspond à l'adéquation entre la couverture et les pertes subies par l'assureur.
- Le délai de récupération correspond à la période d'attente avant l'indemnisation.
- La sensibilité et quantité d'information correspond à la quantité d'information nécessaire pour la mise en place du trigger.
- La prime de risque correspond à la rémunération demandée par l'investisseur.

Du point de vue de la cédante, nous observons :

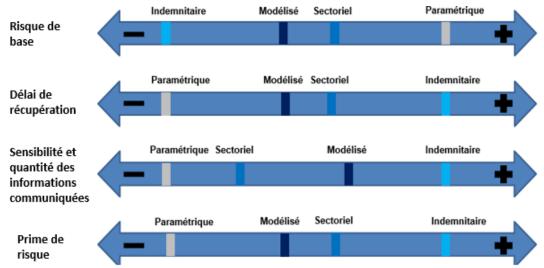


Figure 21 : La titrisation des grands risques : Évolution ou Révolution ?, Aon Benfield 2011, DUBREUIL Emmanuel (2009).

Le sponsor d'un cat bonds indemnitaire est moins exposé au risque de base mais il doit payer une prime de risque plus élevée aux investisseurs car ces derniers s'engagent avec un risque plus opaque pour eux et sur une durée de calcul des pertes plus longues.

Dans le cadre d'un cat bonds 'indemnitaire', le niveau des pertes doit être calculé par la compagnie d'assurance puis celle-ci doit ensuite transmettre les éléments aux investisseurs.

La compagnie d'assurance sera indemnisée plus vite, si elle fait le choix d'un déclencheur sur 'base paramétrique' car l'indemnisation est indépendante de la compagnie. Cependant elle s'expose dans ce cas à un risque de base plus important.

Dans la pratique, la plupart des cat bonds offrent des mécanismes de remboursement indemnitaire. Ils représentaient en 2020 d'après ARTEMIS¹, plus de 60% des émissions réalisées. ARTEMIS est un site recensant les opérations de titrisation en assurance et en réassurance.

Il existe un problème d'asymétrie d'information entre l'investisseur (qui s'expose à un problème d'aléa moral et d'anti sélection) et l'assureur (qui s'expose à un risque de base) en fonction du mécanisme de remboursement.

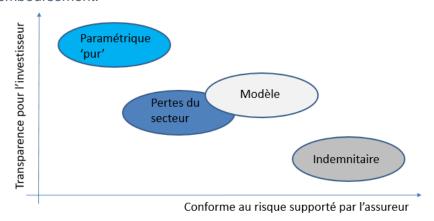


Figure 22 : La titrisation des grands risques : Évolution ou Révolution ?, Aon Benfield 2011, DUBREUIL Emmanuel (2009).

Les positions de l'investisseur et de l'émetteur sont difficiles à concilier :

- L'émetteur cherche à réduire son risque de base.
- L'investisseur va lui chercher l'investissement diminuant l'aléa moral.

Le choix du trigger a un impact sur le prix, de même que la durée de l'indemnisation.

Echéance, période d'extension :

Les cat bonds sont généralement pluriannuels avec une capacité définie sur une période de couverture.

Si au cours de la période de couverture, le seuil de déclenchement(trigger) n'a pas été atteint, l'investisseur sera intégralement remboursé à la fin de la période de couverture.

Si le trigger est atteint, la maturité de l'obligation peut s'allonger pour permettre à la cédante d'évaluer le coût d'un événement avec précision, on parlera de période d'extension.

¹ https://www.artemis.bm/dashboard/cat-bonds-ils-by-trigger/ est un site recensant les opérations de titrisation en assurance et en réassurance. Site internet regroupant les titrisations du marché y compris les Cat bonds.

La maturité de l'obligation peut parfois varier en fonction de l'occurrence d'un événement pendant la période de couverture.

Pour les investisseurs, la période d'extension peut provoquer une 'impasse (ou gap) de liquidité'. Les capitaux liés au cat bonds seront bloqués pendant la période d'extension c'est-à-dire que l'investisseur ne pourra investir sans avoir recours à de nouveaux emprunts (ou de nouveaux capitaux).

Exemple de période d'extension :

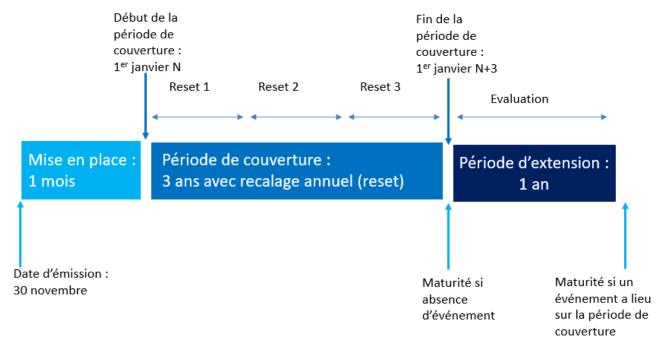


Figure 23 : Exemple de période d'extension

Mécanisme de reset :

Lorsque la couverture est pluriannuelle et que le trigger dépend de l'exposition de la cédante (trigger indemnitaire et pertes du secteur), l'investisseur peut être exposé à une variation de portefeuille de la cédante sur la période de couverture.

Ainsi une hausse du portefeuille de la cédante devrait se traduire par une hausse de la rémunération (spread) pour les investisseurs.

Pour les investisseurs, l'évolution du risque sous-jacent repose principalement sur 2 indicateurs, la probabilité d'attachement et la perte annuelle moyenne. La probabilité d'attachement (attachment probability) correspond à la probabilité que le cat bonds soit déclenché dans l'année c'est à dire à la probabilité que les investisseurs commencent à perdre de l'argent.

Afin de protéger l'investisseur et la cédante, les cat bonds intègrent une clause 'reset' qui permet de limiter la variation du risque sous-jacent éligible au cat bonds à travers une action sur les caractéristiques du cat bonds.

Nous distinguons de 2 types de reset, le 'traditional reset' et le 'variable reset' :

Le 'traditional reset' consiste à maintenir constante la probabilité d'attachement(AP) et la perte attendue(EL) sur la période de couverture via une action sur les priorités et les portées (ou les AAL et AAD) pour compenser l'évolution du portefeuille.
 En général, les priorités et les portées sont recalculées à intervalle régulier (en général annuellement), afin de maintenir la probabilité d'attachement et la perte annuelle moyenne constante.

Pour l'investisseur, le 'traditional reset' présente l'avantage de maintenir le spread constant sur la durée de couverture et ce peu importe l'évolution du risque de base. Pour la cédante, cette forme de reset présente l'inconvénient de modifier la tranche du cat bonds dans le programme de réassurance ce qui peut entrainer une surprotection en cas de superposition avec une tranche existante ou une sous protection en cas de trou de couverture.

Le 'variable reset' vise à maintenir stable la priorité et la portée sur la durée de couverture y compris lorsque le portefeuille évolue via une augmentation du spread. Pour cela, le profil de la cédante est réévalué à partir de son nouveau portefeuille. Avec le nouveau portefeuille de la cédante et une stabilité des bornes du traité, les indicateurs de risques (AP probabilité d'attachement et perte attendue, EL) sont recalculés. Un nouveau prix (spread) est déduit des évolutions des indicateurs de risques.

Pour la cédante, le 'variable reset' permet de maintenir les bornes du cat bonds constantes sur la durée de la couverture et ainsi d'éviter une superposition du cat bonds avec le programme actuel.

Pour l'investisseur, le 'variable reset' entraine une modification du spread à chaque date de 'reset'.

NB : Les AP et EP varient dans un intervalle prédéfini en amont de l'opération.

La clause 'reset' est calculée annuellement en général.

Evaluation des actifs par les agences de notation :

Afin de protéger les investisseurs et de réduire l'asymétrie d'information entre l'investisseur et la cédante, il est courant de faire appel à des agences de notations pour noter les actifs émis.

Les agences de notation permettent à des investisseurs ayant une connaissance partielle du risque sous-jacent d'avoir des éléments de comparabilité avec des actifs existants sur le marché via des indicateurs : espérance de résultat, probabilité de perdre son capital,

Elles contribuent à transformer un risque 'illiquide' d'assurance en risque 'liquide'. Les titres adossés à des opérations de réassurance sont ainsi devenus plus facile à échanger sur des marchés. La méthodologie de notation des actifs d'assurance est la même que celle utilisée pour les autres classes d'actifs. L'évaluation du titre dépend de la structure, de la localisation du FCC, du risque sous-jacent, des caractéristiques de la transaction, des probabilités de pertes et du modèle

Pour pouvoir noter des risques assurantiels, les agences de notation ont développé des compétences sur les modèles 'cat', ce qui leur a permis d'analyser les risques climatiques et de les évaluer. Le développement et l'extension des champs d'action des agences de notation ont permis d'offrir un nouveau regard sur les risques d'assurance. La notation doit permettre la comparabilité entre les actifs, elle est réalisée à priori dans le cadre de la titrisation.

Les agences de notation évaluent une opération de réassurance 'cat' en prix 'marché' en 4 étapes, BARRIEU et ALBERTINI [2009], on parle aussi de 'mark to market' :

- La première étape consiste en la rédaction d'une note présentant le projet. Cette étape se conclut par la signature d'une lettre d'engagement comprenant les frais de notation et les éléments nécessaires à la bonne réalisation de la mission.
- La seconde étape consiste en l'analyse de risque, l'évaluation dépend de la structure, des hypothèses des modèles et des caractéristiques de la transaction (Une analyse

juridique et des modélisations sont réalisées). Une première note et un rapport (contenant la liste des informations manquantes à la cédante) sont transmis à l'issue du comité préliminaire.

- Lors de l'étape 3, l'agence de notation revoit sa note en fonction des informations collectées comme par exemple les dernières évaluations de sinistre. Cette note sera la note à l'émission.
- En fonction de la structure de la transaction, les agences revoient ensuite de manière périodique cette note. En complément, l'agence de notation propose souvent de créer des tranches afin de séparer la capacité en plusieurs tranches lorsque la période d'attachement et de dépassement sont suffisamment distinctes.

Tranching et agence de notation :

Le tranching consiste à définir des tranches (ou des seuils) à partir desquels l'assureur sera indemnisé (et les investisseurs perdront une partie de leur capital). Le tranching permet d'attirer des investisseurs en leurs proposant des actifs avec des niveaux de rendement et de pertes proches de ce qu'ils ont l'habitude d'acheter.

La création des tranches est faite en fonction de l'analyse opérée par les agences de notations. Elle est réalisée lorsque la période d'attachement et de dépassement sont suffisamment distinctes. Les tranches sont notées selon leurs niveaux de risque :

- Les tranches 'equity' sont les tranches les plus risquées, les 1ères à supporter le risque. Elles sont le moins bien notées et elles sont pour l'investisseur plus rémunératrices (leurs probabilités de défaut et leurs espérances de pertes sont élevées).
- Les tranches 'mezzanines' sont les des tranches intermédiaires, elles sont les secondes à supporter le risque (une fois que les tranches Equity sont complètement traversées).
- Les tranches 'senior' sont les des tranches les moins risquées. Elles sont très bien notées et elles sont pour l'investisseur moins rémunératrices (leurs probabilités de défaut et leurs espérances de pertes sont faibles).

Les agences de notation fournissent pour chaque émission d'actifs des probabilités de défaut et plus rarement les espérances de perte associée.

Ces probabilités de défaut sont basées sur une comparaison entre les défauts historiques et les statistiques associées (secteur, AP, EP...) au nouvel actif.

Il y a quelques années, les agences de notation étaient très impliquées dans les opérations de cat bonds cependant nous constatons une baisse des émissions 'notés' depuis quelques années sous l'effet d'un changement de stratégie chez les investisseurs (les fonds d'investissement).

Les fonds qui sont les principaux acheteurs d'obligation ont acquis une meilleure connaissance des risques assurantiels sous-jacents. Ces fonds sont plus ouverts à l'achat de cat bonds non noté.

Emission d'ILS par année : Notée vs non notée

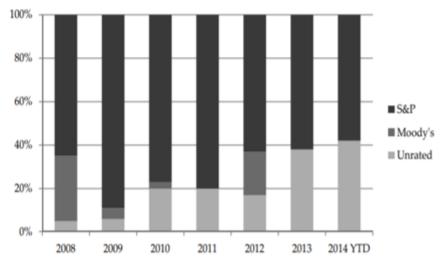


Figure 24: ILS market update Q2 2014, Munich Re [2014]

Pour plus de détails sur le rôle des agences de notation, nous invitons le lecteur à lire le livre 'alternative risk transfer and insurance-linked securities' de BEN AMMAR, BRAUN, ELING [2015].

Cadre juridique du FCC et domiciliation :

Le FCC (Fonds commun de créance) ou encore FCT (Fonds commun de titration, dénomination française depuis 2018) est une société dite 'ad hoc' créée par l'arrangeur dans le seul but de faciliter la mise en place du contrat entre l'acheteur et les investisseurs.

L'ordonnance n° 2008-556 du 13 juin 2008 a doté la France d'un cadre réglementaire permettant l'émission des titres financiers dits 'cat bonds' et plus largement l'enregistrement de véhicules spéciaux. L'ordonnance a été retranscrite dans le code des assurances.

L'article L310-1-2 du code des assurances donne la définition d'un véhicule de titrisation dans le cadre de l'assurance. Un 'véhicule de titrisation' est une entité juridique, qui supporte des risques d'assurance qui lui sont cédés par un organisme d'assurance ou de réassurance.

La législation française dite 'FCT' a été utilisée par Axa dans le cadre de l'opération SPARC (opération de titrisation du S/C d'un portefeuille d'assurance automobile) et par la CCR dans le cadre de Sidecar. Elle est cependant peu utilisée, et des frais juridiques sont à prévoir pour mettre en place une structure française.

La qualification juridique du montage sur le transfert de la cédante vers le FCC (SPV) peut revêtir plusieurs formes pour la cédante :

- Si le risque transféré est paramétrique, c'est-à-dire repose sur une formule d'évaluation calibrée au mieux mais qui laisse subsister un risque de base non nul pour le Sponsor, alors une qualification juridique et comptable sous format 'dérivés' peut être envisagée et autorise une capitalisation réduite du FCC.
 - A noter, les opérations sur instruments financiers de type dérivés sont généralement composés d'un contrat-cadre afin de protéger les deux parties (investisseurs et assureurs). Deux modèles de contrats cadre sont principalement utilisés en France, celui de la fédération bancaire française lorsque les deux parties sont françaises et celui de l'International Swaps and Derivatives Association (ISDA), le plus répandu dans le monde.

- Si en revanche, le risque transféré s'apparente davantage à un risque indemnitaire, reflétant au plus près l'exposition de l'assureur, alors le montage s'apparente à de la réassurance traditionnelle et devra en conséquence être documenté juridiquement comme un contrat de réassurance.

Choix de domiciliation:

Le FCC investit les fonds reçus (payé par les investisseurs) dans des actifs peu risqués. Le choix de domiciliation du FCC est conditionné par :

- La réglementation, le FCC est créé dans un domicile qui permet une constitution rapide, une exigence de fonds propres minimale et un régime fiscal avantageux.
- La fiscalité, la taxation des plus-values et des revenus.
- La juridiction, le droit local doit protéger de manière claire le principe d'étanchéité des tranches d'obligations émises (notion de 'cell protection' en droit anglo-saxon), le cell protection permet d'éviter qu'un investisseur ayant perdu sur une des tranches ne puisse demander son principal sur d'autres tranches non touchés par l'événement.

La question de la juridiction est importante car elle forme un levier pour attirer les investisseurs. Les investisseurs sont sensibles aux choix de la juridiction, mais aussi à la qualité du montage et à la transparence des informations reçues.

Pour la cédante, la question de la juridiction est importante. La réglementation S2 distingue les émissions 'on shore', des sites 'offshore' (paradis fiscaux), les émissions 'offshore' nécessitent une validation de l'autorité de contrôle plus longue pour la cédante.

Format du placement (spécificités pour attirer des investisseurs américains):

Il est courant dans le cadre d'opération de titrisation nécessitant de fortes capacités de faire appel à des investisseurs originaires des USA. La législation américaine distingue pour les opérations de titrisation : les investisseurs professionnels et le grand public.

Pour les opérations dites 'privées' ou à destination des investisseurs professionnels, il est nécessaire de limiter les fuites d'informations en amont de la transaction. Il faut parallèlement utiliser la Rule 144A et limiter le placement au 'qualified buyers'. C'est cette option qui est privilégiée pour les cat bonds.

Pour une opération à destination du grand public, un enregistrement auprès de la securities and exchange commission ou SEC (équivalent de l'autorité des marchés financiers en France) doit être réalisé. L'enregistrement auprès de la SEC est une procédure lourde.

Principale localisation des FCC (SPV):

Dans la note 'synthèse des études menées par la Commission Réassurance et Prospective de l'APREF' [2018] publiée en juillet 2018, l'association des professionnels de la réassurance en France (APREF) note que malgré l'existence d'un cadre réglementaire et de compétence, la France souffre de compétitivité dans l'émission de SPV par rapport à d'autres zones.

L'APREF indique que peu d'émissions ont eu lieu en France et que la majeure partie des émissions s'effectue à partir des lles Cayman ou des Bermudes.

Ces territoires demeurent privilégiés par les principaux utilisateurs des 'cat bonds', les émetteurs originaires des Etats-Unis.

Dans la zone Euro, l'Irlande est à ce jour, le domicile européen privilégié pour les véhicules d'émission de 'cat bonds'.

D'autres pays européens (Malte, Gibraltar, Royaume Uni, ...) disposent de réglementation permettant la création de véhicules d'émissions en accord avec la réglementation S2.

Validation et documentation de la transaction avant commercialisation :

En France, de nombreux échanges avec l'ACPR sont à prévoir afin de valider la conformité de l'opération avec le cadre légal et assurantiel.

La commission européenne a défini des normes techniques pour les procédures de délivrance de l'agrément prudentiel d'un SPV (Règlement d'exécution 2015/462 de la commission du 19 mars 2015). Ces normes couvrent les échanges d'informations entre les autorités de contrôle (ACPR en France) et les SPV².

Les documents à transmettre à l'ACPR pour la création du SPV sont multiples :

- Description de la méthodologie de valorisation des actifs (hypothèses, ...), de calcul des expositions (hypothèses, ...);
- Description détaillée de tout conflit d'intérêt entre le SPV, les entreprises d'assurance et les fournisseurs de dette;
- Description des risques pris en charge par le SPV.

Après avoir obtenu l'accord de l'ACPR, la cédante transmet des documents à destination des investisseurs.

- La documentation à destination des investisseurs permet de préciser l'emploi des sommes disponibles aux fonds, et les moyens de couverture contre les risque de défaillance. La documentation doit préciser la composition du fonds, les schémas, les organismes intervenants et les droits et responsabilités des porteurs de part ainsi que la juridiction en cas de litige.
- Pour la partie documentation, nous renvoyons à 'La titrisation, aspect juridique et financier' de GRANIER Thierry et JAFFEUX Corynne [2004] ou ces éléments sont détaillés.

D'autres différences existent entre la réassurance et la titrisation, elles ont été théorisés par CUMMINS [2004], (Cf. annexe 13, différences entre réassurance et titrisation, Modèle de Cummins).

Face à la complexité des opérations de titrisation, d'autres opérations de transfert ont vu le jour, à l'image de la réassurance collatéralisée (cf. annexe 14, Réassurance collétaralisée).

Opérationnellement, la mise en place d'une opération de réassurance collatéralisée peut être longue, les échanges entre le fonds ILS et la cédante ainsi que les échanges avec le superviseur peuvent être chronophages. Pour faire face à cela, quelques réassureurs ont mis en place des opérations dites de 'réassurance frontée' (cf. annexe 15, réassurance frontée).

² https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2016/462/oj

2.3 Comparaison des structures

Nous avons synthétisé les principales différences entre les structures :

Pour la	Réassurance	differences entre les st Réassurance	Réassurance	Catastrophe Bond	
cédante*	traditionnelle	frontée	collatéralisée	(titrisation)	
Description	La réassurance traditionnelle est une opération par laquelle une cédante, s'assure auprès d'un réassureur pour tout ou partie des risques qu'elle a pris en charge en contrepartie du versement d'une prime de réassurance.	Couverture identique à celle de la réassurance traditionnelle avec une capacité entièrement collatéralisée et un réassureur fronteur qui fait le lien entre le sponsor et le fonds ILS.	Couverture identique à celle de la réassurance traditionnelle avec une capacité entièrement collatéralisée et un SPRV qui fait le lien entre le sponsor et le fonds ILS.	Les investisseurs fournissent une couverture au-delà d'un seuil de déclenchement préalablement convenu en contrepartie de titre dont le rendement dépend de la sinistralité.	
Couverture de réassurance disponible	XS, QP, SL, Surplus	Essentiellement XS	Essentiellement XS	Essentiellement XS	
Disponibilité de	Dispo pour presque	Dispo pour presque	Principalement pour	Principalement pour	
la solution	tous les risques	tous les risques	les risques climatiques	les risques climatiques	
Utilisation	++++	+	+++	++	
Mise en place de la solution	3-4 semaines	3-4 mois	3-4 mois	3-4 mois	
Complexité	+	++	+++	++++	
Taille minimum	Pas de minimum	Pas de minimum	Pas de minimum	70M de capacité (valeur minimale estimée par courtier)	
Reconstitution	A négocier	A négocier	Difficile d'avoir une reconstitution	Difficile d'avoir une reconstitution.	
Quand cette solution est utilisée ?	Utilisé sur toutes les tranches.	Utilisé pour la couverture de toutes les tranches.	Utilisé principalement pour la couverture des tranches basses et pour les traités sans reconstitution.	Utilisé principalement pour la couverture des tranches hautes sans reconstitution.	
Durée de la solution (en général)	1 an à 3 ans	1 an à 3 ans	1 an à 3 ans	3 à 6 ans (permet de lisser les coûts fixes)	
Contrepartie	Réassureur	Réassureur ou Banque	SPRV	FCC ou SPV	
Risque de base	Faible, généralement trigger indemnitaire	Faible, généralement trigger indemnitaire	Fonction du trigger sélectionné	Fonction du trigger sélectionné	
Risque de réputation	+	++	+++	++++	

Tableau 2 : Comparaison des structures

3 Identification de faiblesses dans le programme de réassurance

Cette partie vise à identifier les éventuelles faiblesses dans le programme de réassurance au regard de l'objectif de protection du résultat à 10 ans. Pour ce faire, nous allons procéder à l'identification via notre modèle DFA des sources résiduelles de déviation à 10 ans nette de réassurance.

Dans un premier temps nous présenterons les objectifs du programme de réassurance ainsi que les indicateurs permettant de mesurer l'efficacité de la réassurance.

Puis, nous analyserons la sinistralité brute de réassurance et nette de réassurance afin d'identifier le niveau de déviation résiduelle au global soit sur l'ensemble des classes de risques.

Enfin, nous déclinerons la déviation résiduelle à la maille classes de risques et nous identifierons les éventuelles faiblesses de notre programme de réassurance.

Pour notre cas pratique, nous considérons 11 classes de risques correspondant chacune à un sous périmètre de l'activité de l'entreprise. Ces classes correspondent à des regroupements homogènes de risque correspondants à des risques climatiques ou à des risques non climatiques.

Dans les risques climatiques, nous ferons la distinction entre les risques assurables à l'image des tempêtes, grêles et les risques non assurables comme les catastrophes naturelles au sens de la loi du 13 juillet 1982.

Les catastrophes naturelles (subsidence, inondation et autres catastrophes naturelles) au sens de la loi de 1982 sont des risques considérés comme non assurables.

La caisse centrale de réassurance (CCR) propose, avec la garantie de l'Etat, des couvertures illimitées pour les catastrophes naturelles en France.

Les classes de risques étudiées ici sont les suivantes :

- 3 classes de risques climatiques standards : Tempête, Grêle, Autres TGN (Neige, événements non catastrophe naturelle)
- 3 classes de risques climatiques catastrophes naturelles : Subsidence, Inondation, Autres Catastrophes naturelles (Cyclone, Tremblement de terre...).
- 5 classes de risques non climatiques : RC Automobile, Autres RC, Dommages Automobiles, GAV, Autres Dommages aux biens (Incendie, dégâts des eaux...).

Dans chaque classe de risques, nous avons distingué une charge 'autres' : La classe 'Autres TGN' intègre la charge inondation (autre que catastrophe naturelle au sens de la loi de 1982), cyclone (autre que catastrophe naturelle au sens de la loi de 1982), gel et neige.

La classe 'Autres Catastrophes Naturelles' correspond à l'ensemble de la charge catastrophes naturelles faisant l'objet d'un arrêté catastrophe naturelle autre que subsidence et inondation. Cette charge correspond notamment au cumul de la charge tremblement de terre, cyclone.

La classe 'Autres RC' correspond au cumul de la charge responsabilité civile(RC) autre que la RC automobile.

3.1 Objectifs de notre programme de réassurance

L'efficacité de la réassurance est analysée au regard des objectifs de réassurance : ces objectifs permettent de définir les niveaux d'intervention de la réassurance.

PACIFICA a un programme de réassurance qui lui permet de répondre à 2 principaux objectifs de protection :

- L'objectif de protection des fonds propres : Les plafonds des traités de réassurance sont établis dans les traités pour protéger des évènements et des sinistres graves ainsi que leur charge cumulée à un niveau au moins équivalent à un quantile à 99,5% ou une VaR.

Nous n'avons pas observé de dérives sur les périls au-dessus de ce seuil, aussi nous avons décidé de ne pas étudié cet objectif dans le cadre de ce mémoire.

 L'objectif de protection du résultat technique : le programme de réassurance doit limiter la dérive 10 ans du résultat technique (quantile à 90%).
 Pour l'objectif sur le bas, nous supposerons que la déviation du résultat nette peut être exprimée comme un niveau maximum de sinistralité acceptable tous les 10 ans : Déviation (Résultat technique net; 90%) < niveau max

Pour PACIFICA, la charge sinistre constitue la principale source de volatilité du résultat technique.

Les autres sources de volatilité du résultat comme les primes, les frais, la marge de fluctuation et le résultat financier ont un impact plus faible sur la volatilité du résultat que la charge sinistre, aussi ils ne seront pas étudiés dans la suite du mémoire.

Nous supposerons que la déviation du résultat technique correspond à une déviation de la charge cumulée nette. La charge cumulée nette est la différence entre la charge brute de réassurance et la charge cédée aux réassureurs.

VaR(Charge cumulée nette; 90%) — Espérance(Charge cumulée nette) < niveau max

Autrement dit, PACIFICA peut accepter une déviation de la sinistralité nette de réassurance avec un niveau maximum tous les 10 ans.

3.1.1 Indicateurs de déviation

Pour identifier les faiblesses du programme de réassurance, nous allons proposer des indicateurs permettant de mesurer la déviation du résultat à 10 ans nette de réassurance.

Ces indicateurs seront tout d'abord estimés sur la sinistralité historique puis ils seront calculés sur la sinistralité modélisée. La sinistralité repose sur des simulations extraites du modèle DFA (cf. Partie 1 pour plus de détails sur le DFA).

Nous allons créer des indicateurs bruts et nets de réassurance afin de quantifier la situation avant et après application de la réassurance. Ce qui nous permettra de mesurer également le niveau de protection apporté par la réassurance.

- La déviation brute 10 ans de la réassurance peut être exprimée comme la différence entre le quantile à 90% de la distribution de la charge annuelle (VaR 10 ans) et la charge annuelle moyenne.

La déviation brute 10 ans brute mesure la perte 10 ans avant application de la réassurance, elle s'exprime comme suit sur la charge cumulée brute : Déviation (Charge cumulée brute; 90%)=VaR(Charge cumulée brute; 90%) — E(Charge cumulée brute).

- L'indicateur de déviation brute sera déclinée à la maille classes de risques. Cet indicateur mesure pour chaque péril l'écart entre la perte à horizon 10 ans et la perte attendue. Déviation (Xi brute; 90%)=VaR(Xi brute; 90%) – E(Xi brute) avec Xi la charge du risque i brute de réassurance.

Pour identifier les faiblesses du programme de réassurance, nous allons proposer des indicateurs similaires sur la charge nette afin de quantifier la déviation nette de réassurance 10 ans.

Nous avons ajouté à ces indicateurs de déviation, des indicateurs standards tels que l'écart type, le coefficient de variation ainsi que la VaR 10 ans. Ces indicateurs permettent de mesurer la variabilité relative.

- Le coefficient de variation(CV) est quantifié à partir de l'espérance et de la volatilité, il permet de mesurer la volatilité autour de la moyenne

$$CV = \frac{\sigma(X)}{E(X)} = \frac{\text{Ecart type de la variable X}}{\text{Espérance de la variable X}}.$$

- La VaR sert à la constitution des indicateurs de déviation. Elle s'exprime comme un quantile de la distribution et on peut la définir comme la pire des pertes à horizon α . VaR(X; α) = Inf{x | Pr[X \le x] \geq \alpha} pour la sinistralité X .

3.2 Identification des principales sources de déviation de la charge historique brute de réassurance

Dans cette partie, nous allons identifier les principales sources de déviation brute de réassurance basées sur la charge historique.

Pour constituer la charge historique, nous avons limité le périmètre des sinistres et événements à la période 2008-2017. Nous considérons ces 10 années d'historique comme globalement représentative de nos risques sauf pour certains périls que nous expliciterons.

Pour chaque sinistre et événement, nous avons recalculé la charge 'as if'.

Les charges 'as if' ont été agrégées à la maille annuelle et par risque, nous les appellerons par la suite charge historique.

3.2.1 Contribution de chaque risque à la charge moyenne historique

La charge historique est principalement composée de sinistres individuels. La charge des sinistres RC Automobile, Autres RC, Dommages Automobiles, GAV, Autres DAB (Incendie, dégâts des eaux...) représente près de 87,2% de la charge historique.

La charge des événements ne représente que 12,8% de la charge historique dont :

- 3,7% de charge catastrophes naturelles.
- 9,1% de charge standards.

Nous constatons une certaine cohérence des charges historiques sur la période de référence (2008-2017) avec les charges historiques 2018, 2019 et 2020 pour tous les périls sauf le péril subsidence.

Pour le péril subsidence, la charge a augmenté de manière significative depuis 2017 sous l'effet d'épisode de fortes sécheresses.

Ces épisodes de fortes sécheresses ont entrainé plus de fissures sur les constructions en lien avec le retrait-gonflement des sols argileux et donc une charge plus importante comparativement aux charges de la période de référence.

3.2.2 Contribution historique de chaque risque à la volatilité globale

Dans cette partie, nous étudierons la volatilité de chaque risque au regard de sa contribution à la volatilité globale. Pour cela nous proposerons pour chaque risque de mesurer la contribution au cumul de déviation maximale, cet indicateur permet de quantifier la volatilité de chaque risque.

Cet indicateur représente la contribution à la variabilité du risque par rapport au cumul de variabilité. La variabilité est calculée comme un écart entre la charge moyenne et la charge maximale.

Nous proposons de représenter graphiquement le poids de chaque péril au regard de sa variabilité. La variabilité est étudiée sous 2 angles, la déviation maximale et la contribution au cumul de charge. Le poids de chaque risque dans la charge cumulée est en ordonnée.

La déviation maximale de chaque risque est en abscisse. La contribution à la déviation maximale de chaque risque est caractérisée par la surface des boules dans le graphique.

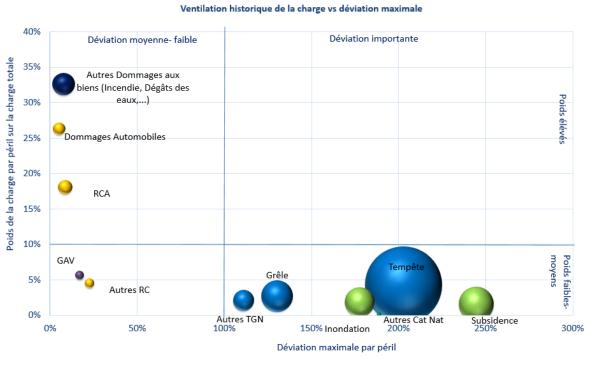


Figure 25 : Ventilation historique de la charge vs ventilation de la déviation maximale

Nous constatons que les risques climatiques ont une variabilité forte par rapport à leurs poids. La variabilité de ces périls est intrinsèquement forte avec une déviation maximale supérieure à 100%. Ces risques ont un poids dans le cumul de déviation maximale de plus de 75% (équivalent graphiquement à la somme des surfaces) alors qu'ils ne pèsent que 12,8% de la charge cumulée. Les risques climatiques ont un impact très fort sur la déviation. Une atténuation de ces risques via la réassurance aurait un impact très fort sur la réduction de la déviation.

3.3 Identification des principales sources de déviation brute de réassurance modélisée

Dans cette partie, nous allons identifier les principales sources de déviation brute de réassurance basées sur la charge modélisée.

La charge modélisée est dépendante des paramètres, des choix de modèles et de la structure de dépendance entre les risques.

La charge modélisée repose sur les charges issues de plusieurs modèles de sinistralité spécifique.

- Les risques climatiques sont essentiellement modélisés par des modèles catastrophes comme pour les modèles tempête, grêle, subsidence, cyclone et tremblement de terre.
- Les autres risques climatiques sont modélisés via des approches fréquence-coût à l'image des modèles inondation, neige.
- Les risques non climatiques sont modélisés de deux façons en fonction d'un seuil. Pour les périls RC Automobile, Autres RC, Dommages Automobiles, GAV, Autres DAB (Incendie, dégâts des eaux...), nous réalisons une modélisation fréquence-coût pour les sinistres au-dessus du seuil de 'grave' et une modélisation attritionnelle pour les autres sinistres.

Le seuil est spécifique à chaque risque.

La dépendance est partiellement prise en compte dans notre modélisation :

- Pour la dépendance entre les modèles ou dépendance inter-modèles, nous ne modélisons pas de dépendance.

Sur les principaux risques modélisés non climatiques, les travaux que nous avons menés en interne ne nous ont pas permis d'identifier de structure de dépendance marquée. Le faible historique dont nous disposons explique ces difficultés d'identification (20 ans).

Sur les périls climatiques, nous n'avons pas intégré de dépendance entre les périls.

- Au sein des modèles climatiques, la dépendance intra-branches, c'est-à-dire entre les branches dommages aux biens(DAB) et automobile (DA), est modélisée.

La dépendance est intrinsèque au risque sous-jacent c'est-à-dire qu'un événement affectera les polices du portefeuille selon leur localisation (sans distinction de branche).

L'intégration de cette forme de dépendance permet de ventiler la charge d'un événement entre les branches du portefeuille.

Le modèle DFA permet d'agréger les modèles de risques et de prendre en compte la structure de dépendance pour en extraire différents indicateurs sur la charge modélisée.

Les résultats présentés dans cette partie se basent sur des simulations correspondant à plusieurs milliers d'années de sinistralité. Le nombre de simulation a été challengé et nous observons une convergence des résultats à partir de 10 000 années de sinistralité simulées. Par la suite, nous retiendrons ce nombre de simulation.

3.3.1 Déviation 10 ans modélisée globale avant application de la réassurance

Nous allons quantifier l'espérance, la volatilité (écart-type, VaR 10 ans) ainsi que la déviation 10 ans de la charge brute modélisée.

Les indicateurs de déviation 10 ans brute sont calculés sur la charge cumulée brute modélisée. Ils mesurent l'écart entre la perte à horizon 10 ans et la perte attendue.

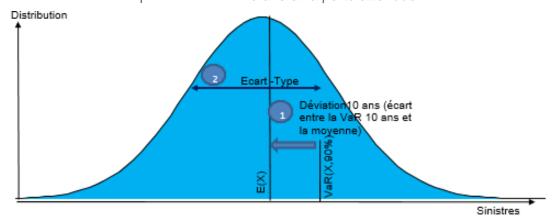


Figure 26 : Indicateurs de déviation avant réassurance

L'indicateur de déviation permet de quantifier le niveau maximum de sinistralité acceptable tous les 10 ans :

	m€	Description de l'indicateur
E(X)	1900	Espérance de la charge brute
Ecart type (2)	191	Ecart type de la charge brute
cv	10%	$\frac{\sigma(X)}{E(X)}$ permet de mesurer la volatilité autour de la moyenne
VaR 10 ans	2072	$VaR(X; 90\%) = Inf\{x \mid Pr[X \le x] \ge \alpha\}$ pour la sinistralité $X : VaR \ a$ 90% pour X
Van IU alis	2012	1
Déviation VaR 10 ans (1)	172	VaR(X; 90%) — E(Xi). Cet indicateur permet de mesurer la volatilité 10 ans de la charge brute par rapport à l'espérance, c'est l'indicateur qui définit le seuil d'intervention de la réassurance.

Tableau 3 : Déviation globale brute de réassurance

La charge moyenne des risques modélisée s'établit à environ 1900m€ avec un coefficient de variation de l'ordre de 10%.

La déviation 10 ans est de l'ordre de 172m€, elle est très supérieure au niveau maximum de sinistralité acceptable fixée par la direction générale à 77m€.

Ce niveau justifie le recours à la réassurance pour protéger la déviation.

3.2 Ventilation de la déviation 10 ans modélisée avant application de la réassurance à partir de la fonction de répartition

Sur la base des 10 000 années de charge simulée avec notre DFA, nous avons isolé quelques années afin de pouvoir visualiser la charge associée à chaque péril.

Les charges simulées ont été triées par ordre d'importance.

Le centile 1% correspond à l'année présentant la 100ème charge globale sur les 10 000 simulations réalisées. Pour chacun des centiles, nous avons isolé la charge associée à chaque péril.

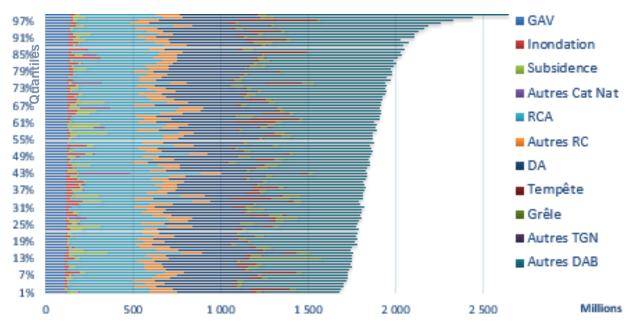


Figure 27 : Ventilation de la fonction de répartition pour quelques centiles

Cette approche présente quelques limites pour appréhender la ventilation, en effet la ventilation est très sensible à l'année simulée retenue.

Afin de stabiliser la ventilation, des approches par moyenne existent. Pour ce faire, il est possible d'utiliser les différences de TVaR pour calculer des moyennes de VaR entre 2 seuils.

On rappelle que les TVaR sont des moyennes de VaR au-dessus d'un seuil, elles sont définies par $TVaR(X;\alpha)=\frac{1}{1-\alpha}\int_{\alpha}^{1}VaR\left(X;t\right)dt$

Ici, nous avons réalisé une analyse des différences de TVaR par seuil de 10%.

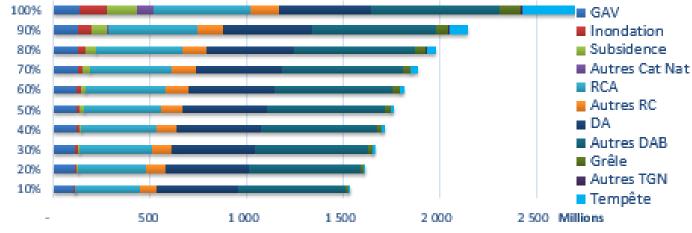


Figure 28 : Ventilation des différences de TVaR par seuil de 10%.

Au-delà de 90% et à mesure que les centiles augmentent, nous observons une tendance à la hausse du poids des événements climatiques dans la charge cumulée.

3.3 Déviation 10 ans modélisée par péril avant application de la réassurance

Nous avons quantifié le poids de chaque risque dans la déviation brute, c'est-à-dire avant application de la réassurance, pour cela nous avons utilisé plusieurs indicateurs.

Nous parlerons de gain de diversification lorsque la VaR 10 ans de l'agrégat de segments est inférieure à la somme des VaR 10 ans pour chacun des segments.

Cet indicateur permet de mesurer les effets de mutualisation à 10 ans.

(2) Gain de diversification VaR 10 ans =
$$\frac{\text{VaR}(\sum_{i=1}^{N} \text{Xi;90\%})}{\sum_{i=1}^{N} \text{VaR}(\text{Xi;90\%})} - 1.$$

Pour quantifier le poids de chaque risque dans la déviation, nous utiliserons l'indicateur de contribution de la déviation 10 ans de chaque péril par rapport à la déviation cumulée (cumul de déviation par péril).

Cet indicateur est exprimé comme suit.

. (3) Contribution déviation brute 10 ans =
$$\frac{\text{VaR}(\text{Xi;90\%}) - \text{E}(\text{Xi})}{\sum_{j=1}^{N} \text{VaR}(\text{Xj;90\%}) - \text{E}(\text{Xj})}.$$

Nous parlerons de gain de diversification lorsque la déviation VaR 10 ans de l'agrégat de segments est inférieure à la somme des déviations VaR 10 ans pour chacun des segments. Cet indicateur permet de mesurer les effets de mutualisation à 10 ans sur l'écart entre VaR 10 ans et la moyenne.

(4) Gain de diversification contribution déviation brute 10 ans =
$$\frac{\text{VaR}(\sum_{i=1}^{N} \text{Xi}; 90\%) - \text{E}(\sum_{i=1}^{N} \text{Xi})}{\sum_{i=1}^{N} \text{VaR}(\text{Xi}; 90\%) - \sum_{i=1}^{N} \text{E}(\text{Xi})} - 1.$$

Sources de déviation modélisée 10 ans avant application de la réassurance (*Gain de diversification)													
m€		Tempête	Grêle	Autres TGN	Autres DAB	Inond.	Subsid.	Autre Cat Nat	RCA	Autres RC	DA	GAV	Gain *
E(X)	1 900	60	43	3	609	37	40	16	409	114	447	122	
Contribution E(X)	(1)	3%	2%	0%	32%	2%	2%	1%	22%	6%	24%	6%	
Ecart type	191	138	33	5	31	52	58	101	51	19	17	9	
CV	10%	228%	77%	175%	5%	138%	143%	649%	12%	17%	4%	7%	
VaR 10 ans	2 072	130	79	7	649	84	103	21	473	139	467	133	-9% (2)
Déviation VaR 10 ans	172 (3)	70	36	3	40	47	63	6	65	25	20	12	
Contribution Déviation VaR 10 ans		18%	9%	1%	10%	12%	16%	1%	17%	6%	5%	3%	-55% (4)

Tableau 4 : Déviation globale détaillée brute de réassurance

Le poids des risques autres que climatiques (Autres DAB, RCA, Autres RC, DA et GAV) est très important dans la charge cumulée avec un poids de 89% de l'espérance (1). Ils sont peu volatils avec une contribution à la déviation de seulement 42% (3).

La contribution des périls climatiques (tempête, grêle, autres TGN, inondation, subsidence, autres catastrophes naturelles) représente en cumulée 11% de l'espérance de la charge (1) pour 58 % de la déviation (3).

Ces périls sont très volatils avec un gros impact sur la déviation VaR 10 ans. Ils nécessitent une couverture de réassurance pour limiter la déviation.

Les gains de diversification sont de 9% sur la VaR 10 ans (2) et ils sont de 55% sur la déviation de la VaR 10 ans (4). Ces gains dépendent de notre décomposition des risques, les gains augmentent à mesure que le nombre de risques augmente du fait de l'indépendance entre les périls.

3.4 Mesure de l'efficacité de la réassurance sur la charge

Pour réduire la volatilité des principaux risques, PACIFICA a recours à la réassurance. Le programme de réassurance de PACIFICA est composé de cinq traités de réassurance. Dans cette partie, nous allons présenter le programme de réassurance puis mesurer l'efficacité de la réassurance sur la charge historique.

3.4.1 Présentation du programme de réassurance PACIFICA

Le programme de réassurance est construit sur la base de 5 traités qui regroupent des risques de même type. Les 5 traités couvrent les principaux risques comme suit :

		principaux risques cornine suit .				
Couverture de	Typologie de sinistre	Ce que couvre la couverture				
réassurance	/événement couverts :					
Traité TGN (XS par événement)	Tempête Grêle Autres TGN (Neige, événements non Cat. Nat.)	Evénements naturels impactant les polices dommages aux biens (Multirisques Habitation, entreprises) et/ou les polices automobiles (Assurance 2 roues, Assurance 4 roues)				
Traité Incendie (XS par sinistre)	Autres DAB (Incendie, Conflagration, Dégâts des eaux)	Incendie ou Conflagration impactant les polices dommages aux biens (Multirisques Habitation, entreprises) et/ou les polices automobiles (Assurance 2 roues, Assurance 4 roues)				
Traité CCR appliquée sur la	Subsidence Inondation	Couverture de la charge annuelle des événements naturels définis par la loi du 13 juillet 1982 et faisant l'objet d'un arrêté impactant les polices dommages aux biens (Multirisques Habitation, entreprises) et/ou les polices automobiles (Assurance 2 roues, Assurance 4 roues). Le Quote part est appliqué puis un Stop Loss est appliqué sur la charge résiduelle annuelle. Traité XS RC permettant de se couvrir contre un risque de déviation du coût des				
charge annuelle (Quote part puis SL)	Autres Cat Nat (Cyclone, Tremblement de terre,)					
Traité RC	RC Automobile					
(XS par risque)	Autres RC	corporels graves essentiellement.				
	Dommages Automobile	Ce traité couvre aussi une déviation de la charge dommage automobile.				
Traité GAV par événement	GAV (Garantie Assurance de la vie)	Traité 'dommages corporels' permettant de se couvrir contre un événement entraînant le décès et l'invalidité de beaucoup d'assurés disposant d'un contrat GAV.				

Tableau 5 : Typologies de traité

Un exemple d'événement tel qu'il est défini dans un traité de réassurance est en Annexe 5.

Schématiquement, PACIFICA conserve les charges en dessous des priorités définis (en vert) et en excédent (bleu foncée) :

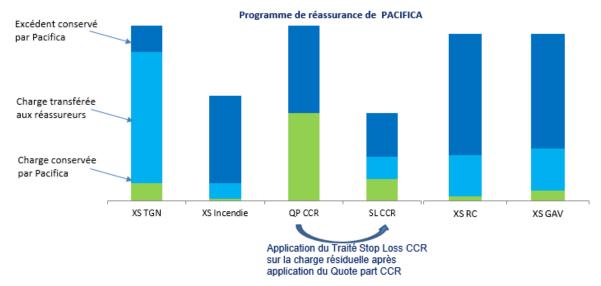


Figure 29 : Programme de réassurance de PACIFICA

3.4.2 Variabilité empirique de chaque risque par rapport à la charge moyenne brute et nette

Afin de quantifier la variabilité empirique des risques par rapport à leur moyenne, nous mesurons la déviation maximale 10 ans qui est l'écart entre la charge annuelle maximum 10 ans d'un péril par rapport à sa charge annuelle moyenne.

Nous réalisons ce travail pour les charges brutes et les charges nettes.

$$\label{eq:decomposition} D\'{e}viation\ maximale\ p\'{e}ril\ i = \frac{\textit{Charge annuelle as if maximale p\'{e}ril\ i - Charge\ annuelle\ as\ if\ moyenne\ p\'{e}ril\ i}}{\textit{Charge\ annuelle\ as\ if\ moyenne\ p\'{e}ril\ i}}.$$

La variabilité historique de la charge événementielle est très importante en comparaison de la charge des sinistres individuels.

Elle est de plus de 100% pour les charges événementielles (tempête, grêle, autres TGN, subsidence, inondation, autres cat. nat.) alors qu'elle est de moins de 25% pour la charge des périls sinistres individuels (autres dommages aux biens, dommages automobiles, autres RC, RCA).

Déviation maximale historique par péril Tempête Grêle 200% 150% Dommages Autres TGN 100% Automobile Autres Dommages aux Autres RC biens (Incendie, Dégâts des... RCA Subsidence Autres Cat. Nat. Inondation Nette de réassurance Brute de réassurance

Figure 30 : Déviation maximale historique par péril

L'indicateur de déviation maximale ne permet pas de mesurer l'efficience des structures en QP (qui couvre les risques catastrophes naturelles) car le coefficient de variation est stable.

Pour les risques catastrophes naturelle (subsidence, inondation et autres cat. nat.), les déviations brute et nette sont similaires, du fait de la présence d'un quote part.

Exemple avec un QP 50% : Déviation maximale brute
$$=\frac{100-50}{50i}$$
 = Déviation maximale nette $=\frac{50-25}{25}$.

Globalement, la réassurance a permis de lisser la charge annuelle maximale principalement sur les risques climatiques. Cependant, ce lissage n'est pas homogène sur l'ensemble des risques climatiques, nous observons par exemple que la réassurance n'a pas eu d'impact sur la grêle. La priorité du traité TGN semble trop élevée pour ce péril.

3.5 Mesure de l'efficacité de la réassurance via la modélisation

Nous allons mesurer l'efficacité de la réassurance sur la charge modélisée.

3.5.1 Volatilité modélisée avant / après réassurance

Le programme de réassurance permet une réduction de la volatilité. Nous allons dans cette section quantifier les indicateurs de volatilité avant puis après application de la réassurance.

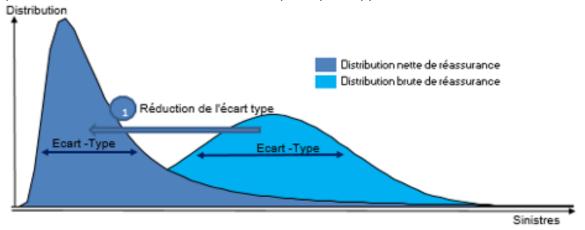


Figure 31 : Impact de la réassurance sur la distribution

La réduction de la volatilité n'est pas homogène sur l'ensemble des périls. La réassurance réduit la volatilité de l'ensemble des périls cependant nous constatons un impact plus fort de la réassurance sur la volatilité des périls climatiques.

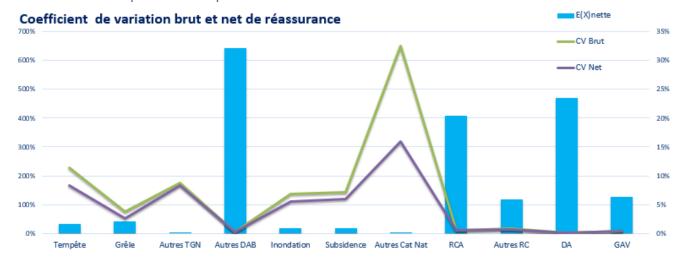


Figure 32 : Coefficient de variation brut et net de réassurance

Sur les périls couverts par le traité TGN (tempête, grêle, neige) et catastrophes naturelles (inondation, subsidence, autres cat.), la baisse de la volatilité après réassurance est plus marquée.

- La volatilité des périls climatiques catastrophes naturelles est réduite sous l'effet du SL.
 La volatilité du péril 'autres catastrophes naturelles' reste très élevée après réassurance en lien avec la nature des risques modélisés cyclone et tremblement de terre.
 La charge récurrente de ces périls est faible.
 - Les événements 'autres catastrophes naturelles' (cyclone et tremblement de terre) sont rares et de grande ampleur autrement dit ils sont très volatils.

Pour le risque cyclone par exemple, lorsque l'intensité du vent atteint au moins 145 km/h en moyenne sur dix minutes ou 215 km/h en rafales mesuré en surface, l'état de catastrophe naturelle' est déclaré. Ces vitesses sont appréciées commune par commune.

- La volatilité des périls climatiques 'autres' est réduite sous l'effet du XS par événement qui permet de lisser les événements de pointe.

L'impact de la réassurance est important sur les périls climatiques.

3.5.2 Déviation 10 ans modélisée globale après application de la réassurance

La réassurance génère une baisse de la volatilité et de l'espérance Elle permet aussi de diminuer la déviation à 10 ans de la charge.

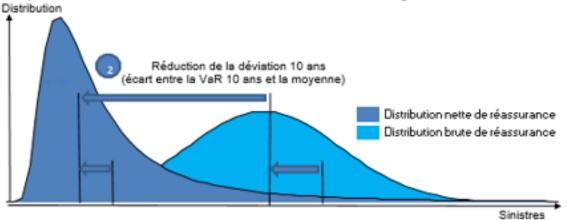


Figure 33 : Impact de la réassurance sur la déviation

La réassurance permet une réduction importante de la déviation 10 ans à plus de 52%, 172m€ (1) en déviation brute contre 82m€ (2) en déviation nette. Le calcul de la déviation est très sensible, il est fonction de nos choix de modélisation et de la prise en compte de la dépendance.

	Brute de	Nette de	Description de l'indicateur				
	réassurance	réassurance					
E(X)	1 900	1 790	La réassurance entraine une baisse de l'espérance de la charge.				
Ecart type (2)	191	80					
CV	10%	4%	La volatilité de la charge est divisé par plus de 2				
VaR 10 ans	2 072	1 871	La réassurance permet de réduire la déviation à 10 ans de 90m€ (82m€ vs 172m€)				
Déviation	172	82	La déviation 10 ans est réduite de plus de 52%				
VaR 10 ans (1)	(1)	(2)	après application de la réassurance				

Tableau 6 : Déviation globale brute et nette de réassurance

Nous avions défini comme contrainte de réassurance que la déviation résiduelle devait être inférieure à un niveau maximum (niveau max).

VaR(Charge cumulée nette; 90%) — Moyenne(Charge cumulée nette) < niveau max. Le niveau observé sur le périmètre retenu dans le cadre de ce mémoire sur la base des choix de modélisation s'établit à 82m€.

En fonction du positionnement du niveau observé par rapport au niveau maximum, PACIFICA peut être sous couvert ou sur couvert.

VaR(Charge cumulée nette; 90%) — Moyenne(Charge cumulée nette) < niveau max.

Dans le cadre de ce mémoire, nous considèrerons que le programme actuel de réassurance de PACIFICA n'est pas assez protecteur en prenant pour hypothèse un niveau max de protection attendu de 77m€. Par la suite, nous ferons en sorte d'étudier les pistes de couvertures permettant de réduire la déviation résiduelle à 10 ans à ce niveau.

NB : Nous aurions pu considérer le programme de réassurance de PACIFICA comme sur couvert. Nous aurions alors proposé un ajustement du programme de réassurance de manière à augmenter la déviation résiduelle.

3.5.3 Déviation 10 ans modélisée par péril après application de la réassurance

La réassurance permet de réduire la déviation résiduelle qui passe de 172m€ de déviation brute à 82m€ de déviation nette. Globalement la réassurance est efficace, elle permet une baisse significative de l'espérance, de la volatilité, et de la déviation 10 ans, cependant cette baisse n'est pas homogène.

Sources de déviation modélisée 10 ans avant /après application de la réassurance												
	Traité TGN			Traité Incendie	Traité Cat. Nat.			Traité RC			GAV	
m€		Tempête	Grêle	Autres TGN	Autres DAB	Inond.	Subsid.	Autre Cat Nat	RCA	Autres RC	DA	GAV
E(X) Brute	1 900	60	43	3	609	37	40	16	409	114	447	122
E(X) Nette	1790	33	39	3	608	17	18	4	388	113	446	122
Déviation VaR Brute 10 ans	172 (1)	70	36	3	40	47	63	6	65	25	20	12
Déviation VaR Nette 10 ans	82 (2)	34	29	3	39	23	31	6	55	23	19	12
Contribution Déviation brute VaR 10 ans	172 (3)	18%	9%	1%	10%	12%	16%	1%	17%	6%	5%	3%
Contribution Déviation nette VaR 10 ans	82 (4)	12%	10%	1%	14%	8%	11%	2%	20%	8%	7%	4%
Delta de contribution à la déviation	-90	-6%	1%	0%	4%	-4%	-5%	1%	3%	2%	2%	1%

Tableau 7 : Déviation détaillée globale brute et nette de réassurance

- Sur le traité TGN, la grêle et la tempête apparaissent comme des leviers importants pour diminuer la VaR 10 ans.
 - La contribution des risques climatiques (tempête, grêle et autres risques climatiques) du traité TGN passe de 28% (3) de déviation 10 ans brute de réassurance à 23% (4) de la déviation 10 ans nette (ou résiduelle) de réassurance.
 - Le cumul de déviation résiduelle 10 ans est de l'ordre de 66m€ pour les périls TGN (2).
- Sur le traité incendie, la sinistralité 'Autres DAB' est principalement composée de sinistre attritionnels (dégâts des eaux, incendie), ce qui explique le faible impact de la réassurance sur ce péril (traité en XS). La sinistralité 'Autres DAB' est peu volatile, aussi un ajustement du traité incendie n'aurait pas beaucoup d'impact sur la déviation résiduelle.

- Sur le périmètre du traité Catastrophes naturelles, le quote part CCR permet une baisse significative de la contribution à la déviation du traité Catastrophes naturelles.

 La contribution des risques alimentant le traité Catastrophes naturelles passe de 29% (3) de déviation 10 ans avant réassurance à 21 %(4) de la déviation 10 ans après réassurance. L'impact du quote part CCR explique cette baisse.

 La déviation résiduelle est de 60m€ après application de la couverture catastrophe naturelle. Nous considérons les leviers comme faibles sur le périmètre de ce traité. Sur ces périls, des sous-jacentes existent cependant elles sont chères et peu d'acteurs les proposent.
- Sur le périmètre du traité RC, la contribution des périls RCA et Autres RC augmentent après application de la réassurance. La déviation résiduelle est importante pour ces périls avec plus de 28% de la déviation nette VaR 10 ans soit 78m€. Cependant la déviation générée par la sinistralité RC est faible par rapport à son volume de sinistralité.
- Le périmètre du traité GAV n'est pas significatif, il représente seulement 4 %de la déviation nette VaR 10 ans.
 Un ajustement de ce traité n'aurait pas beaucoup d'impact sur la déviation.

Nous avons identifié plusieurs leviers pour réduire la déviation résiduelle, une action sur le périmètre du traité Cat. Nat. (périls inondation, Subsidence), une action sur le périmètre du traité RC (périls RC et autres RC) et une action sur le traité TGN.

Compte tenu de la représentativité du traité TGN dans la déviation résiduelle nette VaR 10 ans (près de 23%) et de la forte volatilité des périls climatiques tempête et grêle, nous nous concentrerons dans le cadre de ce mémoire sur l'ajustement de la section climatique du traité TGN, pour nous permettre de réduire la déviation du résultat à 10 ans à un niveau acceptable.

4 Proposition d'ajustement de la structure de réassurance

4.1 Introduction

Nous avons identifié dans la partie 3 que le programme de réassurance de PACIFICA est globalement efficace et qu'il permet notamment de réduire la déviation résiduelle de la charge à 10 ans d'un niveau de 172m€ brute de réassurance à un niveau de 82m€ net de réassurance.

Dans le cadre de ce mémoire nous considérons que le niveau de protection n'est pas suffisant au regard du premier critère de réassurance i.e. maintenir la déviation du résultat à 10 ans en dessous d'un niveau de protection cible.

Pour cela nous considérons que le niveau de protection attendu se situe à 77m€ soit 5m€ audessous du niveau de protection observé via le modèle (82m€).

Nous chercherons à renforcer le programme de réassurance actuel afin de réduire le niveau de déviation résiduelle.

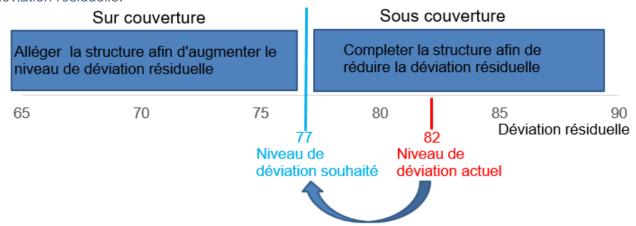


Figure 34 : Niveau de déviation souhaité

Comme précisé dans la partie précédente, nous allons nous concentrer dans cette partie sur la couverture des risques TGN. Comme nous l'avons vu, les risques TGN présentent historiquement une forte volatilité et une charge résiduelle nette importante, de plus le cumul de déviation résiduelle modélisée 10 ans de ces risques est significatif avec un niveau de 66m€ avant diversification.

Les ajustements du traité TGN se feront en complétant la structure actuelle. Ce renforcement vise à réduire la déviation résiduelle en dessous du niveau maximum.

Nous aurions pu considérer un ajustement plus large en intégrant des ajustements sur d'autres traités de réassurance. Par soucis de simplification, dans le cadre de ce mémoire, nous restreindrons les ajustements au périmètre du traité TGN.

Nous supposons que seul un ajustement du traité TGN permet de réduire la déviation résiduelle à un niveau acceptable :

VaR(Charge cumulée nette après ajustement TGN; 90%) –

Espérance(Charge cumulée nette après ajustement TGN) < 77m€.

Notre principal objectif consiste à proposer une couverture des risques TGN réduisant le niveau de déviation à un niveau acceptable.

Pour cela dans un premier temps, nous présenterons la modélisation des risques TGN, puis les principales caractéristiques du traité TGN.

Ensuite, nous aborderons les limites et faiblesses du traité TGN en lien avec notre problématique de protection du résultat technique à 10 ans.

Dans ce contexte, nous identifierons des ajustements sur le traité TGN permettant de réduire la déviation résiduelle. Ces ajustements se feront en marge du traité actuel.

Enfin, nous étudierons plusieurs options de couverture permettant de réduire la déviation résiduelle au niveau attendu. Nous intégrerons d'autres critères de sélection tels que le prix, la marge cédée afin de choisir une couverture optimale parmi celles retenues.

Pour sélectionner la meilleure option, nous procéderons par étape :

Dans un 1er temps, nous mettrons en place plusieurs options en complément du traité actuel (2 sur le graphique) puis nous retiendrons celles qui sont 'efficaces' (3 sur le graphique) c'est-à-dire celles qui permettent de réduire la déviation au niveau attendu, enfin nous sélectionnerons l'option qui permet de maximiser les indicateurs de sélection (4 sur le graphique).

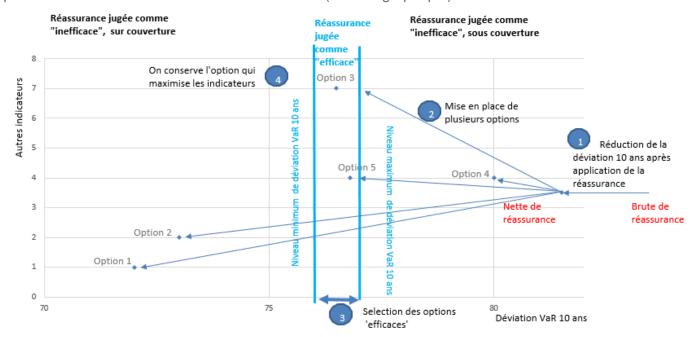


Figure 35 : Efficacité ou inefficacité de la couverture

Afin d'éviter une éventuelle sur couverture (en abaissant la priorité) et d'avoir un peu de latitude par rapport à l'objectif de réassurance, nous avons fixé une zone de tolérance de 1m€ autour du maximum attendu pour la déviation résiduelle, c'est-à-dire que nous conservons les options permettant d'avoir une déviation comprise entre 76m€ et 77m€ :

76m€ < VaR(Charge cumulée nette après ajustement; 90%) – Espérance(Charge cumulée nette après ajustement) < 77m€.

Les options avec ce niveau de déviation résiduelle sont jugées comme efficace.

4.2 Modélisation de la sinistralité TGN (TGN, cyclone, gel)

Le traité TGN couvre l'ensemble des périls naturels de type tempête, grêle, neige, gel, cyclone, tornade, séisme sous-marin, éruption volcanique, chute de météorite, avalanche et inondations.

Les inondations, les cyclones, séismes sous-marin et éruptions volcanique éligibles au traité TGN, sont les événements ne faisant pas l'objet d'un arrêté de type catastrophe naturelle au sens de la loi du 13 juillet 1982.

Nous modélisons une partie de la sinistralité alimentant le traité TGN via plusieurs modèles:

- Tempête via un modèle climatique ;
- Grêle via un modèle climatique et un modèle fréquence*coût ;
- Neige via un modèle fréquence*coût;
- Cyclone via un modèle climatique.

Les autres risques ne sont pas modélisés principalement pour des raisons de matérialité, mais également par manque de données :

- Les risques tornade, séisme sous-marin, éruption volcanique, avalanche et inondations hors cat. nat. ne sont pas modélisés pour des raisons de matérialité Les événements inondation hors cat. nat. qui alimentent le traité TGN sont principalement des petits événements. Ces événements sont historiquement très faibles au regard de la priorité de réassurance aussi nous avons fait le choix de ne pas les modéliser.
- Le risques gel et les chutes de météorite ne sont pas modélisés par manque de données et de modèle marché.

Le risque tempête étant le principal risque résiduel de l'entreprise sur le périmètre du traité TGN à 10 ans, nous allons présenter plus en détail la modélisation de ce risque.

Nous utilisons des modèles tiers pour estimer l'impact des tempêtes sur le portefeuille car ce sont des événements rares, extrêmes et complexes à modéliser.

La modélisation du risque tempête nécessite des compétences pluridisciplinaires pour appréhender le phénomène puis pour le reproduire. Ces compétences sont rares et chères sur le marché de l'assurance.

Il existe 3 principales sociétés marché de modélisation des risques climatiques pour l'assurance : AIR, RMS et EQECAT. Chacune de ces sociétés propose entre autre des logiciels pour la modélisation des cyclones pour les Caraïbes et les Etats unis mais aussi des modèles tempêtes en Europe et qui recouvre la France.

Ces logiciels sont considérés comme des références pour le marché car la plupart des acteurs de l'assurance, de la réassurance et des agences de notation (pour l'évaluation des cat bonds) les utilisent.

Les modèles marché tempête Europe permettent de modéliser l'impact des tempêtes européennes sur un portefeuille assuré. Ces logiciels simulent des années tempête à partir d'un nombre de tempête annuelle modélisée et d'un catalogue d'événement. Dans un second temps, ces logiciels quantifient l'impact sur le portefeuille assuré.

Le logiciel a besoin en entrée du portefeuille assuré de la cédante et de la typologie de risque composant le portefeuille. Le portefeuille assuré doit contenir les sommes assurées et la géolocalisation de ces sommes assurées à la maille départementale (ou code postal pour certains logiciels).

Le logiciel fournit un catalogue d'événements spécifiques, il est obtenu par variation des événements historiques recensés. Cela peut être par exemple obtenu par variation de quelques pourcents des paramètres (vitesse de vents, direction du vent) des évènements historiques.

Pour chaque événement, les logiciels calculent une vitesse localisée sur une surface de quelques km carrés. Après avoir simulé les événements et les vitesses localisées associées, le logiciel calcule le dommage créé par l'événement sur le portefeuille.

Pour cela, les logiciels utilisent des courbes de vulnérabilité qui en fonction de la typologie de risques et de la vitesse du vent attribue un taux de destruction des sommes assurées.

Les logiciels disposent de plusieurs courbes de destruction en fonction des caractéristiques du portefeuille assuré (résidentiel, commercial, agricole, automobile) et de la typologie de biens assurés.

Par exemple, il existe une courbe de destruction pour les maisons construites en bois (résidentiel bois), une autre pour les maisons construites en parpaing...

Les résultats fournis par les modèles sont très sensibles aux données en entrée (sommes assurées) et aux hypothèses retenues (typologie de courbe de destruction choisies).

Par la suite, nous présenterons le processus d'évaluation du risque tempête PACIFICA à travers la modélisation et la sélection du modèle.

La modélisation du risque tempête se décompose en 3 étapes :

- Evaluation des sommes assurées :
- Géolocalisation des sommes assurées :
- Utilisation d'un modèle marché.

Pour garantir la pérennité des résultats dans le temps et par rapport à notre historique, après avoir modélisé les risques tempêtes, nous réalisons des tests sur les sorties des modèles pour les évaluer puis sélectionner un modèle optimal.

La sélection du modèle tempête se décompose en 2 étapes :

- Notation des modèles ;
- Choix du modèle.

Les modélisations tempête ainsi que celle des autres modèles sont détaillées en annexe (cf. Annexe, 3 Modélisation tempête, grêle, neige et gestion des dépendances).

4.3 Structure actuelle du traité Tempête Grêle Neige (TGN)

Le traité TGN couvre l'ensemble des périls naturels de type tempête, grêle, neige, tornade, gel, séisme sous-marin éruption volcanique, chute de météorite, avalanche et les inondations, tremblements de terre ne faisant pas l'objet d'un arrêté de type catastrophe naturelle au sens de la loi du 13 juillet 1982.

La structure TGN correspond à un traité en excèdent de sinistres qui se décompose en 4 tranches (T1 à T4) qui se superposent afin d'éviter des éventuelles trous de couvertures. Les tranches T1 à T4 couvrent les événements tempête, grêle, neige au-delà d'un certain seuil (priorité du programme) et permettent de couvrir les événements jusqu'à une période de retour de 200 ans.

T2, T3, T4 : Tempête, Grêle, Neige, Cyclone, gel et périls naturels (autres qu'au sens de la loi de 1982)

T1 : Tempête, Grêle, Neige, Cyclone, gel et périls naturels (autres qu'au sens de la loi de 1982)

Figure 36: structure TGN 2020

Pour chaque tranche, le niveau d'engagement du réassureur est limité, on parle aussi de nombre de reconstitutions. Lorsque le réassureur accorde N reconstitutions de garantie, l'assureur pourra bénéficier N+1 fois de la protection que lui procure le contrat en excèdent de sinistre (garantie initiale + N reconstitutions)

Les reconstitutions sont caractérisées dans le graphique ci-dessus par les rectangles :

Ainsi, sur la première tranche, l'engagement des réassureurs comprend 2 reconstitutions soit une protection équivalente à 3 fois la portée.

Pour les autres tranches, l'engagement se limite à une reconstitution.

4.4 Les différents leviers pour réduire la déviation résiduelle

Nous avons considéré dans le cadre de ce mémoire que :

- Le niveau de couverture du résultat technique actuel (82m€) n'était pas suffisant au regard de l'objectif de protection (77m€).
- Nous ajusterons la structure de réassurance sur le périmètre du traité TGN seul. Pour rappel à 10 ans, la déviation résiduelle TGN a un impact maximum de 12m€ sur la déviation résiduelle globale.

Pour réduire la déviation résiduelle nous disposons principalement de trois leviers :

- Le premier levier consiste à augmenter la couverture sur le haut par exemple en rehaussant le plafond du traité.
- Le second levier consiste à augmenter le nombre d'événements cédés afin de palier à une potentielle sous couverture de la fréquence de la structure actuelle. Nous pouvons par exemple augmenter le nombre de reconstitution.
- Le troisième levier consiste à augmenter la protection sur le bas par exemple en diminution la priorité. Le nouveau traité permettra de transférer la charge d'événements plus petits.

Pour chacun des ajustements proposés, nous quantifierons les impacts sur la sinistralité historique, sur sinistralité modélisé puis sur la déviation résiduelle.

Ajustement 1 : Augmenter la couverture au dessus du programme de réassurance

T2, T3, T4 : Tempête, Grêle, Neige, Cyclone, gel et périls naturels (autres qu'au sens de la loi de 1982)

T1 : Tempête, Grêle, Neige, Cyclone, gel et périls naturels (autres qu'au sens de la loi de 1982)

Ajustement 3 : Augmenter la couverture en dessous du programme de réassurance

Ajustement 2 : Ajuster la couverture de fréquence

Figure 37 : Ajustement du traité TGN

Pour l'analyse de la charge historique, nous nous limiterons aux sinistres et événements de la période 2008-2017.

En effet, nous considérons la période 2008-2017 comme globalement représentative de nos risques du fait de la croissance du portefeuille et de la déformation de la structure du portefeuille. Pour chaque événement, nous avons recalculé la charge 'as if' vue à fin 2017.

4.5 Augmenter la couverture au-dessus du programme de réassurance

Dans cette partie, nous évaluerons l'impact de la hausse du plafond sur la déviation résiduelle. Pour ce faire, nous augmenterons le plafond de manière à couvrir l'ensemble des événements le dépassant. Le plafond actuel est calibré pour couvrir des évènements tempêtes ayant des périodes de retours supérieures à 200 ans.

4.5.1 Analyse de l'historique

Etant donnée la période de retour du plafond du programme (supérieure à 200 ans), les données historiques ne nous permettent pas d'observer, du moins sur le portefeuille des évènements au niveau de la T5 (supérieurs à 200 ans).

A titre illustratif, les tempêtes Lothar et Martin de 1999 qui ont très fortement touché le marché et qui ont impacté notre portefeuille ont une période de retour inférieure à 100 ans pour le cumul des 2 événements, RENNGLI Dominik, BUTTNER Annemarie [2017].

4.5.2 Résultats des modèles

Sources de déviation 10 ans avant	Dornalion Fait Hollo								
/après intégration T5			Gain sur	Traité TGN					
	E(X)		déviation résiduelle	Tempête	Grêle	Autres TGN			
Couverture actuelle	1790	82		34	29	3			
après T5	1790	82	<0,01%	34	29	3			

Tableau 8 : Déviation avant / après intégration de la T5

La création d'une tranche fictive T5, couvrant l'ensemble des événements dépassant la T4 actuelle c'est-à-dire les événements supérieurs à une période de retour de 200 ans, a un impact négligeable (inférieur à 0,01%) sur la déviation résiduelle 10 ans modélisée. Ainsi, pour répondre à notre besoin de couverture du résultat à 10 ans, l'augmentation de la couverture au-dessus du programme existant ne présente pas d'intérêt.

4.6 Ajuster la couverture de la fréquence du programme de réassurance

Dans cette partie, nous évaluerons l'impact d'une couverture de sur-fréquence sur la déviation résiduelle. Afin d'étudier si la couverture de la fréquence est satisfaisante pour protéger le résultat technique à 10 ans, nous allons dans cette partie étudier l'impact d'ajouter des reconstitutions à la structure actuelle. Nous le ferons dans un premier temps sur la base des données historiques, puis sur celles issues du modèle.

4.6.1 Analyse de l'historique

Sur la sinistralité historique de 2008 à 2017, nous n'avons pas observé de dérive sur le nombre d'événements. La priorité du traité TGN a été dépassé 3 fois historiquement avec au maximum 1 événement par an.

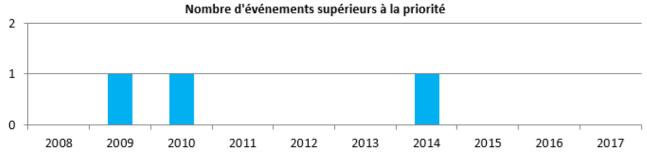


Figure 38 : Fréquence d'événements supérieurs à la priorité

Les événements 'as if' au 31/12/2017 qui ont dépassé la priorité du traité TGN sont les tempêtes Klaus (2009), Xynthia (2010) et la grêle (2014). Nous n'observons pas historiquement de surfréquence d'événements sur le traité TGN.

4.6.2 Résultats des modèles

Pour mesurer si la couverture de la fréquence a un impact pour protéger le résultat technique à 10 ans, nous allons dans cette partie quantifier l'impact sur la déviation résiduelle d'une reconstitution puis de 2 reconstitutions et enfin avec 3 reconstitutions.

NB : Il est à noter que la couverture actuelle dispose de plusieurs reconstitutions pour chaque tranche mais que leur nombre n'est pas homogène en fonction du niveau de la tranche.

Sources de déviation 10 ans		Déviation VaR Nette							
avant/après ajout de			Gain sur	Traité TGN					
reconstitutions	E(X)	Global	déviation résiduelle	Tempête	Grêle	Autres TGN			
Couverture actuelle	1790	82		34	29	3			
avec 1 reconstitution	1790	82,01	<-0,01%	34	29	3			
avec 2 reconstitutions	1790	81,97	<0,03%	34	29	3			
avec 3 reconstitutions	1790	81,97	<0,03%	34	29	3			

Tableau 9 : Déviation avant / après ajout de reconstitutions

Les tranches du traité TGN ont entre 1 et 2 reconstitutions, ce qui explique la légère hausse de la déviation résiduelle en nous limitant à 1 reconstitution sur le traité TGN par rapport à la situation initiale.

Le fait d'augmenter le nombre de reconstitutions au-delà du niveau actuel pour couvrir des surfréquences à un impact faible sur la déviation résiduelle.

Ainsi, pour répondre à notre besoin de couverture du résultat à 10 ans, la couverture des 'sur fréquences' via une hausse des reconstitutions présente peu d'intérêt.

4.7 Augmenter la couverture en dessous du programme de réassurance

L'ajustement de la couverture actuelle sur les fréquences et sur le haut ne permet pas de diminuer la déviation résiduelle du résultat technique à 10 ans. Nous en déduisons que la déviation résiduelle TGN se situe sous la priorité du traité.

Nous analyserons les principales sources de variations de la charge sous la priorité du programme. Pour ce faire, nous décomposerons la sous-jacente en 4 tranches puis nous identifierons les tranches expliquant les sources de déviation.

Nous comparerons les déviations maximales de chaque tranche à la déviation maximale de la sousjacente globale, c'est-à-dire à celle couvrant les événements entre 0 et la priorité de la T1.

Cet indicateur permettra d'identifier les tranches qui ont un impact important sur la déviation de la charge à 10 ans et celles qui ont plus un impact sur la charge résiduelle c'est-à-dire celle qui sont récurrentes.

Par la suite, nous utiliserons la nomenclature suivante :

- La tranche T0-100% représente l'intégralité de la tranche sous la première tranche du programme (T1).
- La T0-25% couvrira la charge des événements compris entre 0% et 25% de la priorité de la T1 du traité actuel.
- La T25-50% couvrira les événements entre 25% et 50% de la priorité de la T1.
- La T50-75% couvrira les événements entre 50% et 75% de la priorité de la T1.
- La T75-100% couvrira les événements entre 75% et 100% de la priorité de la T1.

Nous allons quantifier la déviation pour les fréquences et les charges des tranches T0-25%, T25-50%, T50-75% et T75-100%.

4.7.1 Analyse de l'historique

Nous allons utiliser un indicateur de contribution au cumul de déviation.

La contribution au cumul de déviation permet de quantifier la part du péril à la déviation de la tranche. Cet indicateur représente la contribution à la variabilité du risque par rapport au cumul de variabilité. Contribution au cumul de déviation maximal du péril i

 $= \frac{\text{Charge annuelle as if maximale p\'eril i} - \text{Charge annuelle as if moyenne p\'eril i}}{\sum_{i=1}^{N} \text{Charge annuelle as if maximale p\'eril i} - \text{Charge annuelle as if moyenne p\'eril i}}.$

Déviation historique de la charge 10 ans

Pour identifier les principales sources de déviation historique, nous procédons à une analyse de la charge sous-jacente T0-100% puis par péril. La sous-jacente T0-100% a un impact très fort sur la déviation historique avec un niveau de 59m€ dont une contribution de près de 83% pour les périls tempête et grêle.

La déviation résiduelle historique du péril grêle est plus importante que la déviation résiduelle historique du péril tempête contrairement à ce que nous modélisons.

Sources de déviation 10 ans	T0-100%	Décomposition déviation par péril					
A la maille traité TGN	10-100%	Tempête	Grêle	Autres TGN			
Charge moyenne en m€	94	48	40	6			
Charge maximum 10 ans en m€	152	90	94	26			
Déviation en m€	59	42	54	20			
Contribution au cumul de déviation		36%	47%	17%			

Tableau 10 : Déviation historique 10 ans tempête, grêle, autres TGN

Déviation historique de la charge 10 ans par tranche

Dans cette partie, nous procédons à une analyse pour les tranches T0-25%, T25-50%, T50-75% et T50-75%. A portée égale, la déviation résiduelle diminue logiquement à mesure que la priorité augmente.

- La contribution des périls tempête et grêle à la déviation n'est pas homogène. Elle diffère selon le niveau des tranches et elle constitue le plus fort de l'impact sur la déviation.
- Les périls 'Autres TGN' sont essentiellement des petits événements, c'est-à-dire compris dans la T0-25%.

Sources de déviation 10 ans	Charge	Déviation 10			par péril	
A la maille traité TGN	moyenne en m€	ans en m€	Tempête	Grêle	Autres TGN	
T0-100%	94	59	36%	47%	17%	
T0-25%	71	42	32%	44%	25%	
T25-50%	14	22	40%	60%	0%	
T50-75%	5	13	59%	41%	0%	
T75-100%	3	7	46%	54%	0%	

Tableau 11 : Déviation avant / après ajout de reconstitutions

Les modélisations tempête ainsi que celle des autres modèles sont détaillées en annexe (cf. Annexe, 15 Modélisation tempête, grêle, neige et gestion des dépendances).

Nous avons réalisé par ailleurs une analyse de la déviation historique de la fréquence à 10 ans en annexe (Annexe, 16 déviation historique de la fréquence à 10 ans).

4.7.2 Déviation modélisée après mise en place d'une sous-jacente

Dans cette partie, nous procédons à une analyse à partir de nos modèles de sinistralité.

Pour identifier les principales sources de déviation, nous supposerons la création des tranches T0-25%, T25-50%, T50-75% et T50-75% puis nous évaluerons pour chacune d'elle l'impact de la mise en place d'une telle structure sur la déviation et sur l'espérance de la charge résiduelle.

La mise en place d'une T0-25% permet de réduire l'espérance de la charge de manière significative avec une baisse de près de 191m€.

Les tranches T25-50%, T50-75%, T75-100%, diminuent l'espérance de la charge résiduelle de seulement 21m€ (cumul du gain sur l'espérance nette).

En comparant les tranches, nous observons qu'un transfert de la T0-25% entrainerait une baisse de la charge de près de 191m€ pour un gain sur la déviation de près de 9m€.

A titre de comparaison, un transfert de la T25-50% entrainerait une baisse de la charge de près de 11m€ pour un gain sur la déviation de près de 7m€.

Sources de déviation 10 ans		Déviation VaR Nette						
Modèle	E(X)	Gain			Traité TGN			
	dé	Gain déviation	Déviation	Tempête	Grêle	Autres TGN		
Couverture actuelle. (central)	1790			82	34	29	3	
T0-25%	1 599	191	9	73	6	8	2	
T25-50%	1 779	11	7	75	25	22	4	
T50-75%	1 783	7	6	76	27	24	3	
T75-100%	1 787	3	3	79	51	30	3	

Tableau 12 : Déviation tempête, grêle, autres TGN

Pour la T0-25%, le gain sur la déviation est très faible par rapport au gain sur l'espérance de la charge. La mise en place d'une structure sur cette typologie d'événements se traduirait par un transfert de charge important pour un gain de volatilité relativement faible. Par la suite, nous exclurons cette typologie d'événements qui est peu volatile.

Les tranches T25-50% et la T50-75% permettent de réduire la déviation à un niveau proche du niveau souhaité (pour rappel, la baisse souhaitée est comprise entre 5 et 6m€).

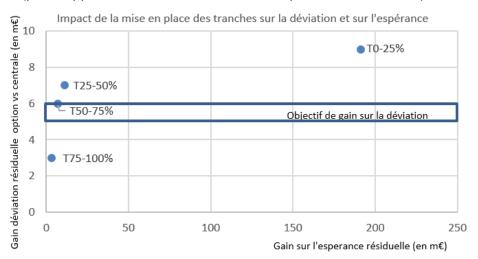


Figure 39 : Impact de la mise en place des tranches sur la déviation et sur l'espérance

Les T25-50%, T50-75% et la T75-100% contiennent l'essentiel de la volatilité de la sous-jacente, le niveau de déviation est important pour ces tranches avec un niveau relativement faible de charge cédée.

4.8 Proposition de couverture de la sous-jacente (vision modèle)

Par la suite, nous excluons les événements de la T0-25% car ils ont peu d'impact sur la déviation au regard de leur impact sur la charge. Ce seuil de 25% permet d'éviter de céder de la marge aux réassureurs en leur cédant de la charge récurrente (donc peu volatile).

Nous testerons plusieurs options de couverture (Quote part, Excèdent de sinistre, Stop Loss) afin de couvrir les périls tempête, grêle, neige, cyclone, gel et périls naturels.

Pour chaque option, nous avons modifié les bornes des traités et nous avons évalué la déviation résiduelle.

Nous avons conservé les options permettant de réduire la déviation résiduelle entre 76m€ et 77m€.

4.8.1 Structure de type Quote Part

La déviation maximale de la charge annuelle étant relativement homogène pour les tranches T25-50%, T50-75% et T75-100%, nous étudierons dans un 1er temps, la mise en place d'une couverture en quote part pour les événements compris entre 25% et 100% de la priorité de la T1.

Afin d'évaluer le taux de cession nécessaire pour couvrir la déviation, nous étudions par dichotomie différents niveaux de cession pour les événements compris entre 25% et 100% de la priorité de la T1

Nous initialisons le taux de cession à 20% puis nous calculons la déviation résiduelle. Si la déviation résiduelle permet de répondre à l'objectif, nous conservons ce taux de cession comme 'optimal'. Nous faisons ensuite varier le taux de cession par pas de 10%, jusqu'à trouver le taux de cession minimal qui permette de respecter l'objectif de protection du résultat à 10 ans.

Nous conservons la couverture qui permet de réduire la déviation résiduelle au niveau attendu.

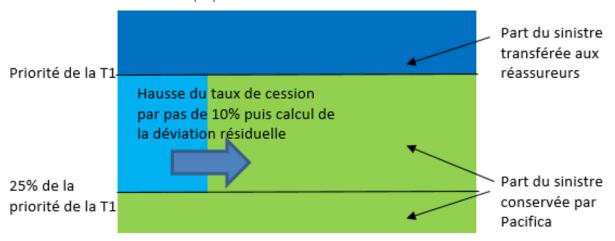


Figure 40 : Exemple de mise en place d'un quote part

La mise en place d'un quote part à 40% des événements compris entre 25% de la T1 et la priorité de la T1 permet de réduire la déviation résiduelle au niveau souhaité.

Sources de déviation 10 ans Modèle		Gain E(X)	Déviation VaR Nette						
	E(X)				Traité TGN				
	nette		Gain déviation	Déviation	Tempête	Grêle	Autres TGN		
Couverture actuelle	1790			82	34	29	3		
après QP à 20%	1 787	3	3	79,0	39	30	3		
après QP à 30%	1 785	5	4,5	77,5	38	29	3		
après QP à 40%	1 783	7	5,8	76,2	38	29	3		
après QP à 50%	1 780	10	7,2	74,8	37	28	3		

Tableau 13 : Déviation avant / après mise en place d'un QP

La mise en place d'un QP est efficace pour réduire la variabilité des événements. Nous observons que la variabilité est réduite de manière homogène sur l'ensemble des périls. Le QP a un impact plus important sur la baisse de l'espérance de la charge que sur la baisse de la déviation résiduelle.

Avec un taux de cession à 40%, la structure permet de réduire la déviation au niveau souhaité, mais avec un transfert très important de l'espérance, ce qui génère un transfert de marge très important. Le QP a un impact important sur la baisse de l'espérance et sur la baisse de la déviation cependant la mise en place d'un XS peut permettre de transférer la volatilité de manière plus ciblée.

4.8.2 Structure de type excédent de sinistre (XS)

Pour évaluer la priorité permettant d'atteindre le niveau de déviation résiduelle, nous proposons de procéder par itération en faisant évoluer la priorité de la T1 par pas de 10% en commençant par la T30-100%. Dans un second temps, nous ferons augmenter le nombre de reconstitutions.

Action sur la priorité à iso reconstitution puis à 1 reconstitution

Nous quantifierons la déviation résiduelle pour la T30-100% (ou 70% XS 30%) et nous retiendrons cette option si celle-ci permet de réduire la déviation résiduelle au niveau attendu, si ce n'est pas le cas nous augmenterons la priorité de 10% jusqu'à obtenir une tranche satisfaisante.

Si les tranches par pas de 10% ne permettent pas d'obtenir une option satisfaisante, nous réitérons l'opération avec des pas de 5%.

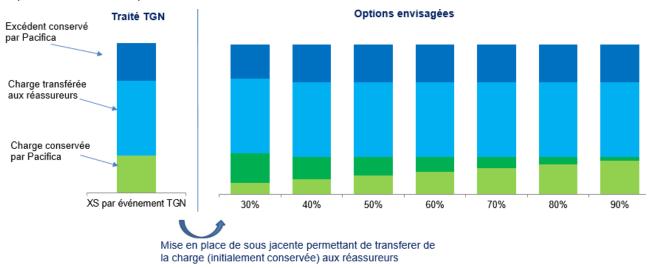


Figure 41 : Action sur la priorité

Pour chaque option, nous avons évalué la déviation résiduelle et nous avons conservé l'option qui permet de réduire la déviation inférieure à un seuil de 77m€. Dans un 1^{er} temps, nous analyserons ces résultats pour un niveau de reconstitution similaire à celui de la T1, soit 2 reconstitutions. Dans un 2nd temps, nous analyserons ces résultats avec 1 reconstitution.

Avec 2 reconstitutions, l'option T70-100% (ou 30% XS 70%) permet de réduire la déviation résiduelle à un niveau satisfaisant (légèrement supérieur à l'objectif).

Sources de déviation 10 ans avant								
/après mise en place d'un XS (en					Traité TGN			
m€) Avec 2 reconstitutions	E(X)	Gain E (X)	Gain déviation	Global	Tempête	Grêle	Autres TGN	
Couverture actuelle	1790			82	34	29	3	
60% XS 40% 2 recs	1776,3	13,7	8,8	73,2	19	20	4	
50% XS 50% 2 recs	1779,7	10,3	7,6	74,4	22	23	4	
40% XS 60% 2 recs	1782,5	7,5	6,3	75,7	25	24	4	
35% XS 65% 2 recs	1783,9	6,1	5,7	76,3	27	25	4	
30% XS 70% 2 recs	1784,8	5,2	4,9	77,1	28	26	3	
20% XS 80% 2 recs	1786,7	3,3	3,5	78,5	30	27	3	
10% XS 90% 2 recs	1787,0	3	3,3	78,7	30	27	3	

Tableau 14 : Déviation avant / après mise en place d'un XS avec 2 reconstitutions.

Le fait de retirer une reconstitution a un impact faible sur la déviation résiduelle modélisée, ce qui est cohérent avec la déviation résiduelle historique.

Sources de déviation 10 ans avant								
/après mise en place d'un XS (en					Traité TGN			
m€) Avec 1 reconstitution	E(X)	Gain E (X)	Gain déviation	Global	Tempête	Grêle	Autres TGN	
Couverture actuelle	1790			82	34	29	3	
60% XS 40% 1 recs	1776,7	13,7	8,8	73,6	19	21	4	
50% XS 50% 1 recs	1780,0	10,3	7,6	74,6	22	23	3	
40% XS 60% 1 recs	1782,7	7,5	6,3	75,7	25	24	3	
35% XS 65% 1 recs	1784,0	6,0	5,7	76,3	27	25	3	
30% XS 70% 1 recs	1784,9	5,1	4,8	77,2	28	26	3	
20% XS 80% 1 recs	1786,7	3,3	3,5	78,6	30	27	3	
10% XS 90% 1 recs	1788,3	3,0	3,3	80,5	32	28	3	

Tableau 15 : Déviation avant / après mise en place d'un XS avec 1 reconstitution

Les structures T35-100% (ou 35% XS 65%) avec 1 reconstitution ou avec 2 reconstitutions permettent de diminuer le niveau de déviation résiduelle à un niveau satisfaisant.

Action sur la franchise annuelle de la 50% XS 50%

Nous avons observé une tendance à la hausse du nombre d'événements dans la tranche T50-100%, depuis quelques années (cf. 7-1-1).

Cependant, une option T50-100% (ou 50% XS 50%) avec 2 reconstitutions ou 1 reconstitution réduirait de manière trop importante la déviation (cf. 8-2-1).

Nous proposons ainsi de mettre en place une franchise annuelle pour réduire la déviation au niveau souhaité.

Ainsi, nous allons procéder par itération en faisant évoluer la franchise annuelle par pas de 5% de l'option 50% XS 50% avec 2 reconstitutions.

La mise en place d'une franchise annuelle permet de couvrir le risque d'avoir un 2nd événement et un 3^{ème} événement dans la tranche 50% XS 50%.

Le 1^{er} événement traversant la tranche est partiellement cédé.

Sources de déviation 10 ans avant			Déviation VaR Nette						
/après mise en place d'un XS (en						Traité TGN			
m€) Avec 2 reconstitutions	E(X)	Gain E (X)	Gain déviation	Global	Tempête	Grêle	Autres TGN		
Couverture actuelle	1790			82	34	29	3		
50% XS 50% 2 recs	1779,7	10,3	7,6	74,4	22	23	4		
50% XS 50% 2 recs AAD 20%	1783,0	7,0	6,8	75,2	26	25	3		
50% XS 50% 2 recs AAD 25%	1783,8	6,2	6,5	75,5	28	26	3		
50% XS 50% 2 recs AAD 30%	1784,5	5,5	6,3	75,7	28	26	4		
50% XS 50% 2 recs AAD 35%	1785,7	4,3	5,1	76,9	30	26	4		
50% XS 50% 2 recs AAD 40%	1785,9	3,7	4,8	77,2	31	38	3		
50% XS 50% 2 recs AAD 45%	1787,0	3,0	4,3	77,7	31	38	3		

Tableau 16 : Déviation avant / après mise en place d'un XS avec 2 reconstitutions et une AAD

4.8.3 Déviation après mise en place du SL

La mise en place d'un Stop Loss permet d'isoler la variabilité de la charge annuelle et de la transférer aux réassureurs, au même titre que le quote part.

Afin d'évaluer les bornes du SL nécessaire pour couvrir la déviation, nous étudierons par dichotomie différents niveaux de priorités, puis de la même manière nous étudierons différents niveaux de portée pour le SL.

Action sur la franchise du SL

Pour évaluer la franchise annuelle permettant de respecter le niveau de déviation résiduelle, nous proposons de procéder par itération en faisant évoluer la franchise annuelle du SL, la limite annuelle restera fixe.

Nous avons étudié par dichotomie différents niveaux de franchise pour le SL, nous avons initialisé la franchise du SL au niveau de la charge annuelle moyenne observée des événements de la T25-100%. La charge annuelle moyenne historique de ces événements représente près de 60% du niveau de la priorité de la T1. Le fait de fixer la priorité du SL à la charge annuelle moyenne observée correspond à notre souhait de transférer la déviation

Pour la portée, nous la fixons au niveau de la charge annuelle maximale observée, soit 150% de la priorité de la T1. Pour cette option, nous quantifierons la déviation résiduelle.

Nous conservons cette option si elle permet de réduire la déviation résiduelle au niveau attendu, sinon nous augmentons la franchise annuelle de 10%, la portée restera fixe jusqu'à obtenir un SL satisfaisant.

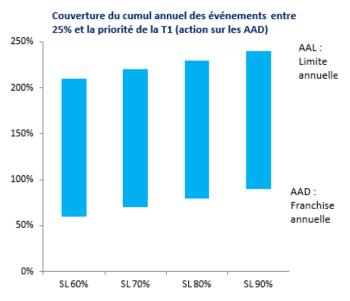


Figure 42 : Couverture SL via déplacement de l'AAD

Le SL90% (150% XS 90%) permet de réduire la déviation à un niveau satisfaisant.

Sources de déviation 10 ans avant		Déviation VaR Nette						
/après mise en place du SL					Ī	raité TGN		
	E(X)	Gain E (X)	Gain déviation	Global	Tempête	Grêle	Autres TGN	
Couverture actuelle	1790			82	34	29	3	
150% SL 60%	1782,5	7,5	7,6	74,4	25	24	4	
150% SL 70%	1783,9	6,1	7,0	75,0	28	25	4	
150% SL 80%	1785,1	4,9	6,1	75,9	30	26	4	
150% SL 90%	1785,9	4,1	5,1	76,9	31	26	4	
150% SL 100%	1786,7	3,3	4,1	77,9	33	27	4	
150% SL 110%	1786,8	2,8	4,1	77,9	34	27	4	

Tableau 17 : Déviation avant / après mise en place d'un SL

Action sur la portée du SL

Pour évaluer la portée annuelle permettant de respecter le niveau de déviation résiduelle, nous procédons par itération en faisant évoluer la limite annuelle du SL, la franchise annuelle restera fixe.

A partir du SL 150% SL 60%, nous faisons évoluer la limite annuelle par pas de 10%

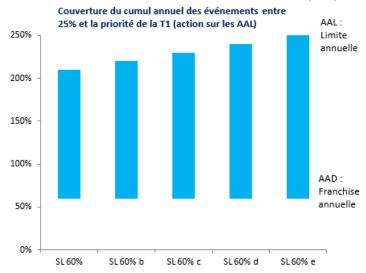


Figure 43 : Couverture SL via déplacement de l'AAL

L'action sur les limites annuelles avec une franchise annuelle à 60% ne permet pas de réduire la déviation à un niveau satisfaisant.

Sources de déviation 10 ans avant			Déviation VaR Nette						
/après mise en place du SL					Traité TGN				
	E(X)	Gain E (X)	Gain déviation	Global	Tempête	Grêle	Autres TGN		
Couverture actuelle	1790			82	34	29	3		
150% SL 60%	1782,5	7,5	7,6	74,4	25	24	4		
160% SL 60%	1782,4	7,6	7,5	74,5	25	24	4		
170% SL 60%	1782,4	7,6	7,5	74,5	25	24	4		
180% SL 60%	1782,4	7,6	7,5	74,5	25	24	4		
190% SL 60%	1782,3	7,7	7,5	74,5	25	24	4		

Tableau 18 : Déviation avant / après mise en place d'un SL avec une priorité de 60%

4.8.4 Options retenues

Les options testées permettent une baisse de la déviation résiduelle par rapport à la structure initiale. Cependant seuls 5 options parmi les 41 testées permettent de respecter la contrainte sur la déviation.

Les options QP à 40%, 35% XS 65% avec 2 reconstitutions, 35% XS 65% avec 1 reconstitution, 50% XS 50% avec 2 reconstitutions AAD 35% et 150% SL 90% permettent d'avoir un niveau de déviation satisfaisant (compris dans l'intervalle souhaité).

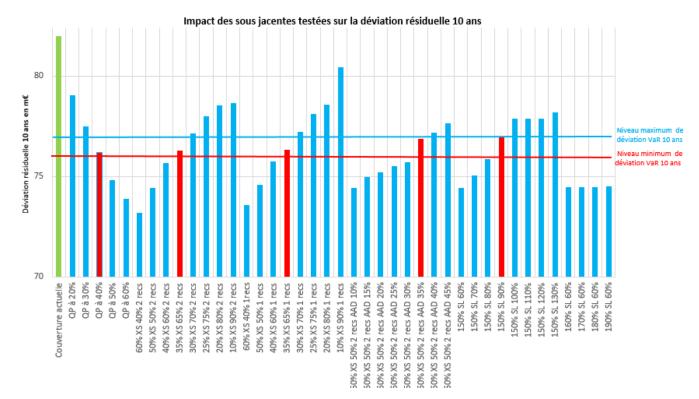


Figure 44 : Impact des sous-jacentes testées sur la déviation résiduelle 10 ans

Par la suite, nous procédons à la comparaison des options ayant un niveau acceptable de déviation puis nous sélectionnerons l'option qui nous semble la plus adaptée.

Ces options ayant un niveau de déviation proche, nous intégrons d'autres critères afin de ne retenir qu'une option.

4.9 Comparaison des options

Les options retenues ont un niveau de déviation compris entre 76m€ et 77m€.

La mise en place des options se traduirait par la baisse de la volatilité et un transfert de l'espérance.

Parmi ces options, nous recherchons l'option la plus efficace, c'est-à-dire celle qui permet de transférer le maximum de volatilité tout en minimisant pour un même niveau d'espérance cédée.

4.9.1 Période d'attachement pour les options

Nous proposons ici de comparer les options à travers leurs périodes d'attachement.

La période d'attachement mesure la probabilité de toucher la tranche de réassurance, c'est-à-dire la probabilité que les récupérations (charge) de la tranche soit positive.

Plus la priorité est basse, plus la protection couvre bas et ainsi plus la période d'attachement sera basse. Cette période permet aussi de distinguer les tranches 'travaillantes' des tranches dites 'non travaillantes', une tranche travaillante est rarement réassurée, les événements d'une telle tranche

sont quasi-certains', ils sont considérés comme récurrent. La tranche T1 de la couverture actuelle a une période d'attachement proche de 3,5 ans.

Les options 35% XS 65% avec 2 reconstitutions et 35% XS 65% avec 1 reconstitution ont une période d'attachement autour de 2,3 ans, elles sont plus travaillantes que la couverture actuelle.

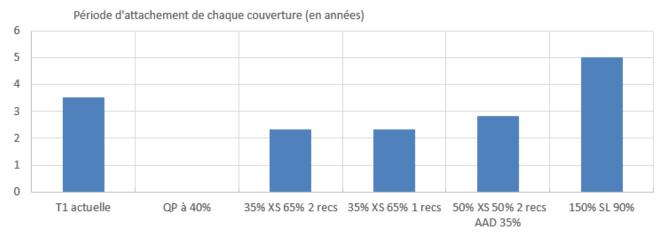


Figure 45 : Période d'attachement de chaque couverture (en années)

Nous ne disposons pas d'un seuil par traité à partir duquel nous définissions une tranche 'travaillante' ou 'non travaillante'. L'utilisation d'un tel indicateur dans le choix de la tranche nécessiterait des travaux complémentaires de déclinaison de la protection de la déviation 10 ans global à un niveau tranche de réassurance avec la mise en place d'indicateur complémentaire.

Par la suite, nous proposerons d'autres indicateurs plus simples à appréhender.

4.9.2 Gain marginal de transfert pour les options

Les options ont un niveau de déviation proche.

Afin de mesurer l'efficacité de ces options, nous proposons de retenir l'option permettant de minimiser le coût du transfert en € au regard du gain de déviation apportée.

Pour ce faire, nous utiliserons un indicateur de gain marginal du transfert, qui permet de quantifier le gain en déviation pour 1€ de marge cédée. C'est une mesure d'efficacité de la réassurance sur la déviation au regard de son coût.

Gain marginal option
$$i = \frac{D\text{\'e}viation\ r\'esiduelle\ option\ }i - D\'eviation\ initiale}{Marge\ c\'ed\'ee\ option\ }i.$$

Le coût du transfert est exprimé à partir de la marge cédée aux réassureurs.

Marge cédée = -Prime commerciale + Prime pure.

La marge cédée est calculée à partir de la prime commerciale de réassurance. La prime commerciale de réassurance correspond à la rémunération du réassureur pour accepter l'opération de transfert.

Pour estimer la prime commerciale $\pi_{r\acute{e}assurance}$, le réassureur intègre sur la base de la prime pure $E(X_{c\acute{e}d\acute{e}e})$, un chargement de sécurité ρ permettant de rémunérer la prise de risque du

réassureur (les frais et la volatilité du risque) et un chargement commercial ρ' incluant la rémunération du capital que le réassureur doit mobiliser.

Nous exprimons la prime commerciale comme fonction de la prime pure et de l'écart type, d'autres méthodes de chargement existent basées sur un chargement sur VaR ou sur la prime pure (cf. Annexe, 17 Définition prime commerciale en réassurance) :

$$\pi_{r\acute{e}assurance} = E(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}) + \rho \times \sigma(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}) + \rho' \times \sigma(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}) \; .$$

Par souci de simplification, nous allons utiliser un coefficient de chargement global (intégrant le chargement de sécurité et le chargement commercial).

$$\pi_{réassurance} = E(X_{cédée}) + \rho" \times \sigma(X_{cédée}).$$

La marge cédée est équivalente à - ρ " × $\sigma(X_{cédée})$.

Pour la marge cédée, nous supposerons un chargement de 10%, ce taux est proche du taux de chargement que nous observons sur notre traité TGN.

Comparaison de l'impact de la mise en place des options sur la volatilité et sur la charge nette	Espéranc	Impact e nette Gain E (X)		riation Gain déviation	$\sigma(X_{c \circ d \circ e})$	pact sur la tra atilité de la tra Marge cédée (10% de L'écart type)	anche
Couverture actuelle	1790		82,0	-			
35% XS 65% 2 recs	1783,9	6,1	76,3	5,7	10,8	1,08	5,3
35% XS 65% 1 recs	1784,0	6,0	76,3	5,7	13,8	1,38	4,1
50% XS 50% 2 recs AAD 35%	1785,7	4,3	76,9	5,1	8,3	0,83	6,2
150% SL 90%	1785,9	4,1	76,9	5,1	10,0	1	5,1

Tableau 19 : Comparaison de l'impact de la mise en place des options sur la volatilité et sur la charge nette

L'option la plus efficace est celle qui permet de maximiser le niveau de déviation cédée pour 1€ de marge cédée.

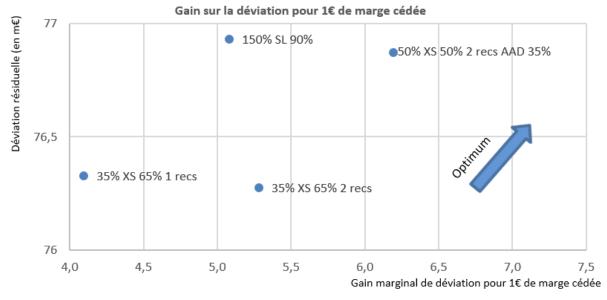


Figure 46 : Gain sur la déviation pour 1€ de marge cédée

NB: La couverture QP a été exclue de l'analyse car la prime commerciale associée au QP est complexe à évaluer. Celle-ci peut être diminuer de commissions payés par le réassureur à la cédante. Les commissions sont payées par le réassureur à la cédante pour l'acquisition des contrats.

Avec une hypothèse de chargement à 10% :

- L'option 150% SL 90% permet le transfert de 5,1m€ (82-76,9) de déviation pour un coût de 990k€, cela signifie que pour 1€ de marge cédée, cette option permet la cession de 5,1€ de déviation.
- L'option 50% XS 50% 2 recs AAD 35% permet le transfert de 5,1m€ (82-76,9) de déviation pour un coût de 830k€, cela signifie que pour 1€ de marge cédée, cette option permet la cession de 6,2€ de déviation.
- L'option 35% XS 65% 1 recs permet le transfert de 5,7m€ (82-76,3) de déviation pour un coût de 1,38m€, cela signifie que pour 1€ de marge cédée, cette option permet la cession de 4,1€ de déviation.
- L'option 35% XS 65% 2 recs permet le transfert de 5,7m€ (82-76,3) de déviation pour un coût de 1,08m€, cela signifie que pour 1€ de marge cédée, cette option permet la cession de 5,3€ de déviation.

A noter que pour le QP, nous n'avons pas intégré la commission de réassurance (correspondant aux frais de gestion payés par les réassureurs) à la prime commerciale.

4.9.3 Classement entre options:

Nous avons fait le choix de classer les options de 1 à 4 (avec 4 la meilleure note) selon 3 critères, d'autres indicateurs sont présentés en annexe (18, Quelques indicateurs de l'efficacité de la réassurance) : Le niveau de déviation résiduelle, la période d'attachement et le gain marginal.

Comparaison des options				
Classement de 1 à 4 (avec 4 la meilleure option)	Déviation Var 10 ans	Période d'attachement	Gain marginal (Gain déviation / Marge cédée)	Cumul
35% XS 55% 2 recs	3	1	3	7
35% XS 55% 1 recs	4	1	1	6
50% XS 50% 2 recs AAD 35%	2	3	4	9
150% SL 90%	1	4	2	7

Tableau 20 : Comparaison des options

L'option 50% XS 50% 2 recs avec une AAD de 35% est l'option qui permet de maximiser nos critères. La prime de réassurance est dépendante de la charge cédée et de la volatilité de celle-ci, l'intégration du nombre de reconstitution permet de limiter la prime de réassurance.

Dans la partie suivante, nous étudierons la mise en place de cette option.

5 Choix de la couverture entre réassurance traditionnelle et financière pour transférer les risques

Dans la partie précédente, nous avons proposé la mise en place d'une sous-jacente TGN pour réduire le niveau de déviation résiduelle cependant nous n'avons pas étudié les contours de ce transfert ainsi que la question du coût et de la disponibilité de cette solution.

La structure que nous souhaitons mettre en place nécessite une capacité importante (environ 50m€), avec une période d'attachement basse.

Dans un premier temps, nous présenterons la réassurance traditionnelle comme solution de transfert puis les limites à son utilisation.

Nous proposerons ensuite quelques mécanismes de transfert alternatifs afin de contourner les limites de la réassurance traditionnelle.

Enfin, nous réaliserons un comparatif entre ces solutions de transfert.

5.1 Transfert du risque via la réassurance traditionnelle

5.1.1 Rappel de la structure à mettre en place

Nous souhaitons couvrir la charge cumulée des événements TGN compris entre 50% de la priorité et la priorité avec une franchise annuelle de 35%.

Nous fixerons à 2 le nombre de reconstitution afin de limiter l'engagement du réassureur et de garantir de bonnes conditions tarifaires (engagement maximum des réassureurs de 115% de la priorité de la T1).

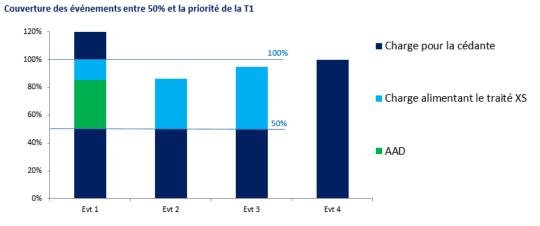


Figure 47 : Couverture de la sous-jacente

La prime pure est calculée à partir d'événements calibrés sur la base de modèle stochastique. La prime pure correspond au cumul des événements (compris entre 0 et 3) éligibles de l'année.

 $\pi' = \max(0; \sum_{i=1}^{3} \min(50\% \ de \ la \ priorit\'e; \ max(0; \ Evenement_i - 50\% \ de \ la \ priorit\'e) - Franchise annuelle).$

5.1.2 Tarification via réassurance traditionnelle du traité TGN

Pour estimer le taux de chargement ρ " à la mise en place d'une nouvelle structure TGN, nous utilisons le modèle TGN et les prix proposés par les réassureurs lors du dernier renouvellement

$$\pi_{réassurance} = E(X_{cédée}) + \rho'' \times \sigma(X_{cédée}).$$

Dans un premier temps, nous avons retenu un taux de chargement sur écart-type de 10% qui correspond à ce que nous observons en moyenne sur le traité TGN, nous avons ensuite comparé la prime estimée avec cette hypothèse à la prime réellement payée (lors du dernier renouvellement) :

Traité TGN	T1	T2	T3	T4	Total
E(Xcédée)	11,1	10,1	5,5	4,0	30,8
Ecart type(Xcédée)	24,3	35,7	30,6	35,5	105,1
Prime estimée	13,5	13,6	8,6	7,6	43,4
Prime payée	14,2	13,3	8,1	7,0	42,6
Ecart en %	-4,7%	2,6%	6,1%	8,5%	1,8%

Tableau 48 : taux de chargement traité TGN, CAUSSARIEU [2018]

Nous observons que le taux de chargement diminue à mesure que la priorité de la tranche augmente ceci est liée à notre découpage des tranches ainsi qu'à la probabilité plus faible que la tranche soit touchée à mesure que la priorité augmente.

Nous observons que la T1 qui a des caractéristiques proches (tranches travaillantes) de la sousjacente a un chargement sur écart-type autour de 12%. La T4 qui est moins travaillante a un chargement sur écart-type de l'ordre de 8,6%.

Nous avons finalement retenu une hypothèse de chargement sur écart-type de 12% pour la sous-jacente, car la sous-jacente a une période d'attachement proche de celle de la T1.

Avec une hypothèse de chargement sur écart type à 12%, nous estimons à 24% le niveau de chargement sur prime pure de la réassurance traditionnelle pour l'option testée :

$$\pi_{r\acute{e}assurance} = E(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}) + 12\% * \sigma(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}) = 124\% * E(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}).$$

La méthodologie que nous utilisons pour déterminer un taux de chargement présente quelques limites :

- La prime commerciale du traité TGN est fonction des autres traités de réassurance.
- Le prix théorique avec un taux de chargement à 12% que nous avons calculé est en général différent du prix réellement payé (ou prix commercial). Les réassureurs étant sur différents programmes de l'entreprise, nous pouvons bénéficier d'une baisse sur le prix du traité TGN en offrant un autre traité avec un prix plus favorable aux réassureurs.
- La sensibilité de la prime pure est très forte en fonction des modèles. Dans notre cas, nous avons supposé que les réassureurs utilisaient les mêmes modèles de risque (tempête, grêle...) que ceux que nous utilisons. Les modèles climatiques servant à la calibration peuvent donner une appréciation du risque très différente en fonction du paramétrage ou des sommes assurées les alimentant.

D'autres limites inhérentes aux marchés de la réassurance existent (cf. 1-4 limites de la réassurance traditionnelle) comme la concentration des acteurs ou encore la cyclicité de la prime de réassurance.

5.2 Mise en œuvre d'une opération de titrisation pour PACIFICA via un Cat bonds

Dans la partie 1-4 (limites de la réassurance traditionnelle), nous avons identifié que la réassurance traditionnelle présentait un certain nombre de limites : concentration des acteurs, cyclicité des prix...

Ces limites peuvent être contournées via le recours à une opération de titrisation (cf. Partie 2 Réassurance alternative), et plus particulièrement la mise en place d'un cat bonds.

Le fait de transférer une dérive de la sinistralité TGN avec un développement court rend la création de ce type d'opération particulièrement pertinent.

Les marchés financiers offrent l'accès à une multitude d'investisseurs et ils permettent une déconnexion des tarifs de couverture par rapport aux cycles tarifaires de réassurance réduisant ainsi la dépendance vis-à-vis des réassureurs (cf. Partie 2 Réassurance alternative).

Les marchés financiers permettent de limiter l'exposition au cycle de prix, de diversifier les fournisseurs de capacités et également réduire le risque de contrepartie.

5.2.1 Structure et flux financiers

Les cat bonds sont des instruments financiers dont l'objectif est de permettre le transfert du risque d'assurance catastrophe aux marchés financiers.

NB : Il est peu courant d'utiliser des cat bonds pour des périodes d'attachement aussi faible (moins de 5 ans). Les cédantes utilisent les cat bonds pour des périodes d'attachement beaucoup plus élevées (supérieures à 100 ans).

L'exercice que nous réalisons sur le cat bonds est purement théorique. Le cat bonds présente quelques avantages dans notre situation :

- La protection est en général pluriannuelle (3 à 5 ans) ce qui permet de garantir une couverture sur plusieurs années et d'amortir les coûts liés à cette structure. Le caractère pluriannuel permet ainsi de rééquilibrer les prix sur la durée d'un cycle de réassurance en anticipation d'un cycle de 'hard' market par exemple.
- La couverture du risque s'opère de manière totalement collatéralisée pour le sponsor comme pour l'investisseur.
- Le prix peut être inférieur à celui de la réassurance traditionnelle.

_

Nous nous placerons par la suite dans le cadre d'un cat bonds structuré comme une couverture pluriannuelle de réassurance traditionnelle sur une durée de 3 ans avec une indemnisation basée sur les pertes réellement subie par PACIFICA c'est-à-dire sur la base d'un trigger indemnitaire (cf. Chapitre 2, 2-5-2 Déclenchement ou 'trigger'). Ce qui permet de répliquer au mieux la couverture de réassurance (cf. Partie 2 Réassurance alternative).

A la mise en place, PACIFICA verse une prime à un fonds commun de créance (FCC ou SPV) créé pour l'opération. De son côté, l'investisseur verse au fonds une somme appelée principal au FCC pour entrer dans l'opération. Le FCC place ces montants dans des actifs sans risque, appelé aussi collatéral, ce qui lui permet d'obtenir des intérêts. Le risque de contrepartie est restreint voire nul pour PACIFICA contrairement à une opération de réassurance traditionnelle.

D'autres éléments permettant de présenter les caractéristiques de l'obligation cat bond sont présentés en Annexe (cf Annexe, 19 Caractéristiques de l'obligation cat bond)

5.2.2 Tarification d'un cat bonds à partir de ses caractéristiques

La tarification d'un cat bonds est fonction du coupon payé par le FCC aux investisseurs.

Le coupon peut être décomposé en deux parties, une partie sans risque correspondant au rendements des actifs mis à disposition par les investisseurs et une partie portant le risque dit spread :

- La partie sans risque correspond aux rendements d'obligation sans risque (par exemple Euribor), elle définit le minimum attendu par l'investisseur.
- Le spread est la marge qui s'additionne à la référence de marché (obligation d'état) pour déterminer la rémunération du risque pris par les investisseurs. Elle intègre une évaluation du risque sous-jacent (intégrant les différentes clauses) ainsi qu'une marge pour couvrir les éventuelles lacunes de modélisation.

Le rendement des investisseurs est fonction de plusieurs paramètres : le taux d'intérêt sans risque, la perte attendue et le risque de prime.

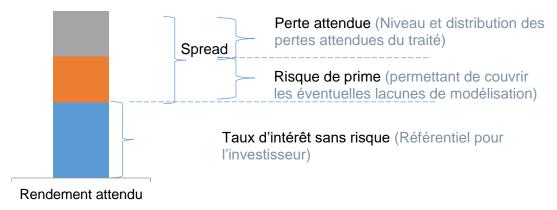


Figure 49: Rendement des investisseurs

Par la suite, nous détaillerons le rendement attendu par l'investisseur. Il existe d'autres paramètres ayant un impact sur le rendement tels que la marge pour l'incertitude des modèles ou les conditions de marché. Ces paramètres ne seront pas traités.

- En général, la marge pour incertitude des modèles (choix des hypothèses, périmètres, absence de modèle pour certain péril) est calculée comme une charge additionnelle à partir de scénario ou de modèle simplifié.
- Les conditions de marché correspondent aux rendements des entreprises notées aux même niveau que le cat bonds....

Ces paramètres ne seront pas traités.

Taux d'intêret sans risque :

Le taux d'intérêt sans risque est utilisé comme référentiel pour l'investisseur, il est calculé à partir de la courbe des taux (Euribor...). Par simplification, nous considérons le taux d'intérêt sans risque comme nul.

Perte attendue – Distribution des pertes attendues :

Les investisseurs achètent des titres dont le rendement dépend des résultats du XS, c'est-à-dire des pertes attendues. Ces pertes peuvent être exprimées en pourcentage du principal investi par l'investisseur, elles dépendent de la sinistralité du XS, on parle aussi de payoff :

$$Payoff = \begin{cases} 100\% & \text{si la sinistralit\'e du XS est nulle} = 0 \\ \frac{Sinistralit\'e \ du \ XS}{Capacit\'e} & \text{si } 0 < \text{sinistralit\'e du XS} < capacit\'e \\ 0\% & \text{si sinistralit\'e du XS} \geq capacit\'e \end{cases}$$

Le payoff peut être exprimé à partir de la probabilité d'attachement et de la probabilité d'expiration.

- La probabilité d'attachement (AP) mesure la probabilité de toucher la tranche de réassurance et donc d'avoir un payoff à plein.
- La probabilité d'expiration (EP) correspond à la probabilité de perdre 100% du principal sur cette tranche donc à la probabilité d'avoir un payoff nul.

$$P(Payoff = x) = \begin{cases} P(Payoff = 100\%) = P(X \le AAD) = AP \\ P(Payoff = \frac{X}{Capacit\acute{e}}) = P(AAD < X < AAL) = 1 - EP - AP \\ P(Payoff = 0\%) = P(X \ge AAL) = EP \end{cases}$$

Les différents indicateurs sont calculables à partir de la distribution de la sinistralité. Pour ce faire, nous avons simulé 300.000 années de sinistralité TGN :

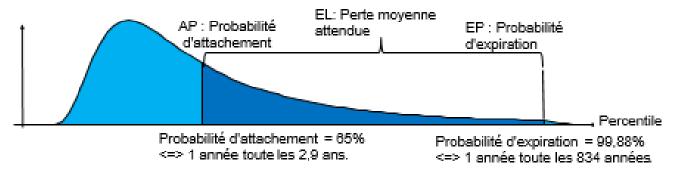


Figure 50 : Distribution de la sinistralité de la sous-jacente

A partir de la distribution, nous pouvons calculer le rendement de l'investisseur (P(Payoff=x)) :

- Dans 65% des années simulées, les investisseurs sont intégralement remboursés (P (Payoff=100%)).
- Dans 0,12%(1-99,88%) des années simulées, les investisseurs perdent intégralement leur principal (P (Payoff=0%)).

	Point d'attachement Ou 'Trigger '	EL : perte moyenne attendue	Prime de réassurance	Médiane	Point d'expiration ou 'Exhaustion'
Payoff: Niveau de consommation de la capacité	0% (AAD)	6,8% (EL)	8,2% (PC)	50%	100% (AAL)
Probabilité d'attachement du niveau de consommation	65% AP	68%	69 %	98%	99,88% EP
La sinistralité du XS	est nulle dans 65 % des années simulées, dans ces cas les investisseurs sont intégralement remboursés.	est inférieure à la perte moyenne attendue dans 68% des années simulées.	est inférieure à la prime commerciale de réassurance dans 69% des années simulées.		consomme intégralement la capacité dans 0,12% des cas, dans ce cas les investisseurs perdent intégralement leur principal.
	$P(Payoff)$ $= 100\%) = P(X)$ $\leq AAD) = AP$ $= 65\%$		$P\left(Payoff\right)$ $=\frac{PC}{Capacit\'e}$ $=P\left(X \le PC\right) = 69\%$		P(Payoff = 0%) = $P(X > AAL)$ = $1 - P(X \le AAL)$ = $1 - 99,88\% = 0,12\%$

Tableau 22: Payoff

Risque de prime via droite de marché :

Le marché des cat bonds relève des mêmes contraintes que n'importe quel marché : plus le risque pris est important, plus la rémunération exigée sera importante. Il est ainsi possible de tracer une droite de marché séparant les opérations onéreuses ou économiques du point de vue de l'émetteur.

La base ARTEMIS³, créée en 1999, recense les opérations de titrisation en assurance (catastrophe bond, ILS...) et regroupe plus de 600 opérations de titrisation au niveau mondial.

Cette base n'est pas exhaustive du fait de l'opacité de certaines opérations qui font l'objet de deal privé.

La base offre des statistiques sur les cat bonds, elle recense les primes pures (ou pertes attendues), le sponsor, le nombre de tranches, le nom de l'agence de modélisation, les périls couverts, la taille de l'opération en millions de \$, le type de déclencheur ainsi que la date d'émission.

_

³ https://www.artemis.bm/dashboard/cat-bonds-ils-by-trigger/ est un site recensant les opérations de titrisation en assurance et en réassurance. Site internet regroupant les titrisations du marché y compris les Cat bonds.

A partir des informations présentes sur le site ARTEMIS, nous avons filtré les opérations avec un trigger indemnitaire portant sur des émissions de 2013 à 2019 :

- Les tempêtes européennes (3 opérations, en bleu sur le graphique),
- Les multi-périls européens (4 opérations, en orange sur le graphique)

Ces informations permettent de tracer une droite de marché à partir du coupon et de l'espérance du risque à l'émission.

Représentation de la droite de marché des cat bonds sélectionnés. La droite bleu (y=x) permet d'évaluer le spread comme différence entre la 1^{ère} bissectrice représentant la prime pure (ou perte attendue) et le coupon.

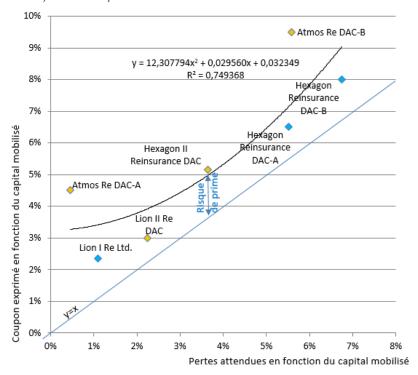


Figure 51 : Représentation de la droite de marché des cat bonds.

Nous remarquons que le coupon des opérations portant sur des tempêtes européennes est globalement moins élevé (en moyenne 1,2 point) que celui portant sur les opérations multi périls (en moyenne 2,4 points).

Nous observons la même chose sur le marché de la réassurance traditionnelle. En général, pour les tempêtes européennes, les acteurs utilisent essentiellement des modèles marché (modèle tempête Europe). Pour les autres périls, les acteurs utilisent en plutôt des approches spécifiques (modélisation interne, approche par scénario) et ils y intègrent une marge pour l'incertitude liée aux modèles plus importante.

A partir de la courbe et de notre évaluation des pertes attendues (6,81% du capital mobilisé), nous pouvons évaluer le niveau du coupon.

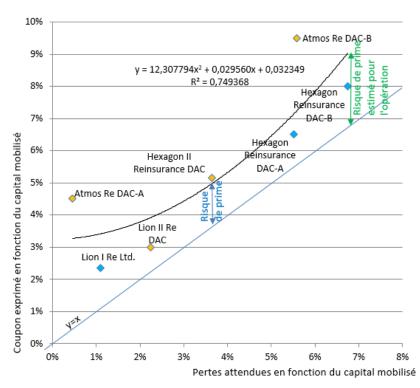


Figure 52 : Représentation du coupon avec la droite de marché des cat bonds.

L'évaluation du coupon à partir de la courbe est très sensible :

				Sensibilité du coupon	
	Pertes attendues	Coupon avec la courbe de marché	Coupon avec la courbe de marché en retirant l'opération Atmos DAC B	Coupon avec la courbe de marché en retirant l'opération Lion 2 Re DAC	Coupon avec la courbe de marché en retirant l'opération Lion 1 RTd
en % du capital mobilisé	6,81	9,14	8,35 (-9%)	8,88 (-3%)	10,47 (+14%)
En base 100	100	134	123	130	164

Tableau 23 : Sensibilité de la courbe

Cette méthodologie présente quelques limites :

- Elle repose sur une hypothèse de forte d'homogénéité entre les actifs retenus.
- Le faible nombre de points, nous invite à être prudent sur le véritable tarif.

Le rendement attendu par l'investisseur pour cette opération est de 9,14%. Le risque de prime est calculé comme delta entre le rendement attendu (9,14%) et la perte attendue (6,81%).

D'autres méthodologies de valorisation des actifs d'assurance existent (Lane [2000]), elles reposent entre autres sur une évaluation de l'actif à partir de sa modélisation (approche économétrique...).

5.2.3 Tarification d'un cat bonds à partir de sa note

Le rendement attendu pour le cat bonds peut aussi être évalué à partir de sa note. L'agence de notation note le cat bonds comme n'importe quel actif à la demande de l'arrangeur, elle réalise cette tâche pour le compte de la société émettrice.

Notation à partir des caractéristiques du sous-jacent :

Dans un 1^{er} temps, le cat bonds est noté par les agences de notations à partir des caractéristiques du sous-jacent. La probabilité de perte, l'espérance de perte (EL) et la distribution du payoff sont en général utilisées par les agences de notation pour caractériser le sous-jacent c'est-à-dire pour définir le risque de perte associé à l'actif.

La note est définie en fonction du risque de perte, plus le risque de perte est élevé, plus la note est basse.

Dans un 2nd temps, l'agence de notation mesure la sensibilité de la note en modifiant les caractéristiques du cat bonds.

Une fois la note définie, l'agence de notation utilise des tables de correspondance note-spread qui permettent d'associer pour chaque actif un spread en fonction de sa note. Les tables note-spread reposent sur l'historique des notes et des spreads recensés par l'agence.

Un peu plus loin, nous illustrons l'utilisation ces tables de correspondance note-spread en utilisant celle de l'agence de notation SCOPE. SCOPE Ratings⁴ est une agence de notation européenne (1% de part de marché en 2016) créée en 2002.

Elle publie régulièrement des tables de correspondance note-spread, SCOPE Ratings [2019], table qui associe à chaque note un niveau moyen de perte attendu dont voici un extrait :

Appendix I Scope's idealised expected loss

Figure 1. Idealised expected loss table

Scope	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	Year 8	Year 9	Year 10
AAA	0.001%	0.003%	0.008%	0.015%	0.025%	0.038%	0.055%	0.076%	0.101%	0.130%
AA+	0.002%	0.005%	0.012%	0.023%	0.039%	0.059%	0.084%	0.115%	0.151%	0.193%
AA	0.004%	0.013%	0.028%	0.050%	0.079%	0.115%	0.158%	0.208%	0.265%	0.329%
AA-	0.007%	0.016%	0.037%	0.068%	0.108%	0.157%	0.215%	0.281%	0.356%	0.439%
A+	0.012%	0.028%	0.064%	0.114%	0.175%	0.248%	0.331%	0.422%	0.523%	0.632%
A	0.021%	0.054%	0.106%	0.172%	0.252%	0.344%	0.447%	0.560%	0.683%	0.815%
Α-	0.035%	0.082%	0.160%	0.260%	0.377%	0.509%	0.653%	0.810%	0.978%	1.156%
BBB+	0.061%	0.170%	0.306%	0.462%	0.635%	0.823%	1.025%	1.240%	1.465%	1.702%
BBB	0.106%	0.287%	0.499%	0.733%	0.987%	1.258%	1.543%	1.842%	2.153%	2.475%
BBB-	0.182%	0.533%	0.923%	1.334%	1.758%	2.192%	2.634%	3.083%	3.538%	3.998%
BB+	0.571%	1.142%	1.713%	2.280%	2.841%	3.398%	3.950%	4.499%	5.044%	5.586%
ВВ	0.889%	1.778%	2.668%	3.526%	4.354%	5.154%	5.929%	6.683%	7.417%	8.133%
BB-	1.271%	2.541%	3.812%	5.014%	6.147%	7.220%	8.241%	9.217%	10.153%	11.055%
B+	2.302%	4.604%	6.280%	7.691%	8.952%	10.115%	11.209%	12.252%	13.253%	14.222%
В	2.971%	5.941%	8.032%	9.746%	11.245%	12.604%	13.863%	15.046%	16.170%	17.246%
B-	4.616%	8.971%	11.702%	13.777%	15.498%	16.999%	18.350%	19.593%	20.755%	21.855%
CCC	12.366%	19.533%	23.952%	27.264%	29.981%	32.328%	34.425%	36.344%	38.129%	39.812%

Tableau 20 : SCOPE idealised expected loss

⁴ https://www.scoperatings.com/ScopeRatingsApi/api/downloadstudy?id=4a900d79-d616-4e01-a160-e7aff38a6492

NB : La probabilité de défaut associée à cette table est en annexe, 20 SCOPE - Probabilité de défaut.

Après 1 ans de détention, un actif noté B a une perte moyenne attendue de l'ordre de 2,97%.

Après 1 ans de détention, un actif noté CCC a une perte moyenne attendue de l'ordre de 12,37%.

La perte moyenne attendue est calculée à partir de la probabilité de défaut dit PD, le taux de perte en cas de défaut dit LGD (Loss Given Default) et l'exposition en cas de défaut dit EAD.

Perte attendue = PD * LGD * EAD.

La table utilisée dans le cadre de S2 (Article 199 du règlement délégué 2016/36) est proche de la table SCOPE cependant elle ne présente pas des espérances de perte, elle est disponible en annexe (annexe, 21 probabilité de défaut utilisée dans le cadre de Solvabilité 2).

Tranching:

Dans cette partie, nous procèderons à la mise en pratique du tranching comme le ferait une agence de notation.

La note associée au cat bonds dans la table SCOPE Ratings [2019] est CCC.

	Sinistralit	é de l'actif	Table de correspondance SCOPE		
Niveau de consommation de la capacité	Point d'attachement Ou ''Trigger	Expected Loss	Recherche de la valeur supérieure la plus proche à 1 an dans la table	Spread	
Tranche 1	63%	6,8%	12,37%	CCC	

Tableau 24 : Niveau de consommation de la capacité

Avec une seule tranche, nous constatons que l'espérance de perte de la tranche CCC (12,37%) est très éloignée de celle du titre (6,8%), une classification du cat bonds en une seule tranche pénaliserait PACIFICA dans l'émission d'un tel cat bonds. En effet, un investisseur attendra d'un actif noté CCC, un coupon similaire à un actif CCC.

Pour ne pas pénaliser l'actif, nous procédons à un tranching pour abaisser la note de l'actif. Le tranching consiste à découper l'actif en plusieurs tranches :

- Pour l'investisseur, le tranching permet d'avoir des d'actifs (en général 2 ou 3) avec différents niveaux de rendement et de pertes. Ces actifs peuvent ainsi mieux coller à l'appétit au risque des investisseurs.
- Le tranching permet d'optimiser la note de chaque tranche et de réduire le spread global. Le spread global après tranching sera inférieur à celui avant tranching.

La 1^{ère} étape du tranching consiste à définir une tranche T1 qui reproduit au mieux celle de l'actif noté CCC de la table SCOPE Ratings [2019]. On parle aussi de 'mark to market'.

La seconde étape consiste à modifier les bornes (point d'attachement (Y%)) de la T2 afin de :

- minimiser la taille de la 1ère tranche. En effet cette tranche est la plus coûteuse pour l'assureur car la mieux rémunérée pour les investisseurs, la perte attendue de cette tranche T1 doit être proche de celle de l'actif CCC.
- respecter les contraintes de perte attendue (Y') imposées par les agences de notation à partir de la table de correspondance note et pertes attendues.

La tranche 2 est déduite de la T1. Nous évaluons la note des tranches obtenues et nous fixons le spread par rapport à la table de correspondance spread-note.

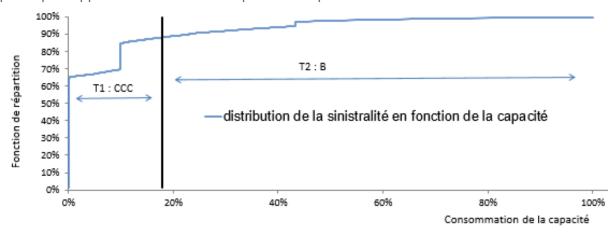


Figure 53 : Distribution de la sinistralité en fonction de la capacité de la tranche

Nous passons pour l'actif d'une note de CCC avec une perte attendue à 12,37% avant tranching à une note comprise entre CCC et B après tranching c'est-à-dire avec une perte attendue entre 2,42% et 12, 37%.

	Sinistralit	é de l'actif	Table de corresp	Table de correspondance SCOPE		
Niveau de consommation de la capacité	Point d'attachement Ou ''Trigger	Expected Loss	Note	Spread attendu pour cette note		
Tranche 1	63%	12,37%	CCC	XX		
Tranche 2	88,3%	2,42%	В	XX		

Tableau 25 : Niveau de consommation de la capacité avec 2 tranches

L'évaluation des actifs à partir de leur note présente quelques limites :

- Cette méthode repose sur une hypothèse de forte d'homogénéité entre les classes d'actifs de la table, hypothèse qui n'est pas toujours vérifiée.
- En général, des agences de notation sont intégrés dans le processus de titrisation. Elle ajoute de la complexité au mécanisme de titrisation mais aussi un surcoût.

NB : Il faut noter que depuis quelques années, les agences de notation sont de plus en plus exclues des opérations de cat bonds.

Les fonds ILS (qu'ils soient détenus par des réassureurs ou non) n'ont plus l'obligation d'acheter uniquement des cat bonds avec un rating. Par ailleurs, de plus en plus d'opération se font sur des capacités plus petites et elles ne font pas appels à des agences de notation.

5.2.4 Frais de structuration et placement

Une opération de titrisation nécessite le recours à plusieurs intermédiaires très spécialisés.

Ces intermédiaires sont des experts qu'il faut rémunérer, ces coûts s'additionnent au Spread pour PACIFICA, ils doivent être étudier avant d'envisager une telle opération.

Nous avons étudié avec nos courtiers en réassurance et nos réassureurs, les coûts additionnels pour la mise en place d'un cat bonds. Ces chiffres sont donnés à titre informatif.

Le cat bonds souhaité par PACIFICA a une duration de 3 ans, nous calculerons les frais additionnels annuellement pour permettre un lissage des frais de l'opération sur la période et permettre la comparabilité avec la prime de réassurance.

	Frais liées à la titrisation	Frais totale à la mise en place (en % du capital à mobiliser) avec une duration de 3 ans	
Prime pure	Pertes attendues	6,81*3	6,81
Prime de risque	Prime de risque indicative :		
	En intégrant le spread	9,14*3	9,14
Frais relatifs à	Structuration & placement	0,5	0,189
la capacité	Ratings	0,0675**	
	Avocats	0,40	
	Modélisation (RMS, RQE, AIR)	Non demandée***	
Frais fixe	Avocat local et Administrateur	0,04	
	Road show	0,02	0,166***
	Autres frais (Imprimés,		
	traités,)	0,036	
Frais	Administrateur / Auditeur	0,26	0,12
Additionnel	Autres (Ratings,)	0,10	
Prime totale en i	ntégrant les chargements		9,66

Tableau 26 : Frais liés à la titrisation

Il est à noter que dans beaucoup d'opération de gré à gré, le rating n'est pas utile. Nous n'avons pas obtenu de la part de nos courtiers et réassureurs, les coûts liés à la modélisation. 5.2.5 Tarification via cat bonds

En retenant nos hypothèses de frais (2-6 Frais de structuration et placement), nous obtenons une prime équivalente à 142% de la prime pure soit 114% de la prime de réassurance traditionnelle.

$$\begin{split} \pi_{cat\ bond} &= 142\% * E(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}) \; (142\% = 9,66\%/6,81\%) \\ &= 114\% * \pi_{r\acute{e}assurance} (114\% = 9,66\%/(124\% * 6,81\%)) \; . \end{split}$$

En excluant les frais, la prime du cat bonds est équivalente à 108% de la prime de réassurance.

$$\pi_{cat\ bond\ sans\ les\ frais} = 134\% * E(X_{c\'ed\'ee})(9,14\%/6,81\%)$$

$$= 108\% * \pi_{r\'eassurance}(9,14\%/(124\%*6,81\%)).$$

NB : En général les cat bonds sont réalisés sur le haut du programme et pas sur le bas de celui-ci. Cela permet d'obtenir des capacités plus grandes et ainsi de lisser les frais.

5.3 Les principales limites de la réassurance financière

Au-delà des coûts des intermédiaires, nous avons identifié d'autres limites à la réalisation d'une opération de ce type tel que la lourdeur de la procédure d'émission et les coûts d'entrée important.

5.3.1 Un effort de communication et de transparence important

Une opération de titrisation nécessite une exigence importante en communication, et en transparence. Ces éléments permettent de fiabiliser les processus et ainsi d'attirer les investisseurs.

L'émetteur devra par exemple fournir et actualiser régulièrement son modèle de risque (base sinistre lié aux événements tempête, grêle... évènements modélisés) mais aussi son business plan pour attirer les investisseurs.

L'émetteur devra aussi fournir aux investisseurs un descriptif des polices couvertes (type de police, franchises, ...), une synthèse de la politique de souscription, l'exposition des polices couvertes, ainsi que la politique de provisionnement.

Pour PACIFICA, cet effort de transparence peut se révéler comme contre-productif dans un secteur très concurrentiel. Les concurrents de PACIFICA pourraient ainsi être abordés par l'arrangeur en tant qu'investisseur et ainsi recevoir des informations confidentielles sur la structure de portefeuille de PACIFICA.

5.3.2 Un coût d'entrée important

Une opération d'une telle complexité nécessite la formation des équipes aux techniques financières, afin d'assurer le suivi de ce l'opération.

L'émetteur devra mettre en place une organisation pour répondre très rapidement aux demandes régulières ou plus spécifiques de l'arrangeur (cf. rôle du claims reviewer et du 'loss reserve specialist' 2-3-1) et ou de l'agence de notation.

Par ailleurs, la contractualisation autour de ce genre de couverture est forte ce qui laisse peu de possibilité de négocier en cas de litige sur l'événement.

Malgré un intérêt croissant pour les marchés financiers pour se couvrir, les cédantes privilégient toujours les réassureurs traditionnels car ils sont plus accessibles et ils nécessitent des efforts de communication et de transparence moins importants.

Ces dernières années, des solutions à mi-chemin entre réassurance traditionnelle et réassurance financière se sont développées.

5.4 La réassurance collatéralisée

Afin de faciliter le transfert vers les marchés financiers, des structures plus souples ont vu le jour. Ces structures permettent de réduire la lourdeur opérationnelle via une réduction des intermédiaires. Nous présenterons par la suite la réassurance collatéralisée.

5.4.1 Définition

La réassurance collatéralisée ressemble à de la réassurance traditionnelle.

Dans ce schéma de transfert, le réassureur est remplacé par un véhicule de réassurance dit SPRV. Le véhicule de réassurance (SPRV) permet de transformer le traité de réassurance en titres pour le fonds ILS car les fonds ILS ne sont pas habiliter à acheter des traités de réassurance directement.

Il est à noter que contrairement à une opération de titrisation, les opérations de réassurance collatéralisée ne nécessitent pas d'agence de notation. Ce sont généralement des opérations de gré à gré entre les fonds et la cédante.

Ces véhicules sont généralement localisés aux Bermudes ou à Guernesey (véhicules pré établis) ou le régime fiscal ainsi que le coût de mise en place sont favorables à ce type d'opération.

Le risque de réputation est à prendre en compte dans le cas d'un tel montage.

Pour chaque opération de réassurance, un compte de collatéral dédié est mis en place. Ces comptes sont indépendants les uns des autres. Pour chaque compte, le SPRV reçoit la prime de réassurance versée par la cédante et les prix d'achat versés par les investisseurs (généralement fonds ILS) pour les titres, ces montants sont investis avec l'accord de la cédante et des investisseurs dans un collatéral (obligation ou lettre de banques bien notés).

5.4.2 Tarification via réassurance collatéralisée

Nous avons demandé à un courtier de coter la tranche TGN via réassurance collatéralisée afin d'évaluer les gains avec ce type de couverture.

La réassurance collatéralisée a permis une baisse de la prime.

 $\pi_{r\acute{e}assurance\ collat\acute{e}ralis\acute{e}e} = 94\% * \pi_{r\acute{e}assurance}.$

Après échange avec notre courtier, la baisse observée (-6%) par rapport à la réassurance traditionnelle s'explique dans notre cas par un choix de modèle tempête moins conservateur que celui utilisé par les autres réassureurs ainsi qu'une exigence de retour sur capital moins forte du fonds ILS par rapport aux réassureurs. Il s'agit dans ce cas d'un gain d'opportunité.

5.4.3 Limites de la réassurance collatéralisée

Les limites à l'utilisation de la réassurance collatéralisée sont nombreuses (cf. Chapitre 2-4 réassurance collatéralisée) :

- Les traités de réassurance avec collatéral intègrent souvent des clauses de commutation. Ces clauses libèrent les investisseurs de leurs engagements futurs, il demeure cependant un risque de dérive de la sinistralité qui sera assumé par la cédante. Dans notre cas, les événements TGN sont relativement bien adaptés à ce type de protection, les 'événements climatiques' (hors sécheresse) sont clôturés 24 mois après leur survenance.
- Les SPRV sont en général émis pour un an. Il est rare d'avoir des protections pluri annuelles avec ce type de couverture.
- Les règles autour du collatéral peuvent créer une grande distorsion avec une couverture de réassurance traditionnelle :
 Afin que l'opération soit considérée comme une opération de réassurance traditionnelle des échanges avec l'ACPR sont à prévoir afin de valider la conformité de l'opération avec

le cadre légal et assurantiel (cf. 2-3-7 Validation et documentation de la transaction avant commercialisation). Il faut à minima que le collatéral soit égal à 100% de la capacité.

 Les SPRV sont généralement localisés aux Bermudes (véhicules pré établis) où le régime fiscal est favorable à ce type d'opération.
 Le risque de réputation est ainsi à prendre en compte dans le cas d'un tel montage.
 En cas de conflit sur la structure ou sur le collatéral, la législation choisie est souvent celle du SPRV.

Les Bermudes représentaient 73% des émissions de fonds ILS en 2017 d'après le rapport de septembre 2018 Bermuda Insurance Linked Securities (ILS) Market Report publié par Bermuda Monetary Authority, [2018].

ILS Issuance by Country of Risk (In US\$ billions)							
Country	2013	2014	2015	2016	2017	2018	
Bermuda	4.7	7.7	5.6	5.1	10.1	8.8	
Cayman Islands	1.9	0.7	1.1	1.2	1.4	1.5	
Ireland	1.0	0.4	0.6	0.8	0.3	-	
Other	_	0.03	0.3	_	0.7	1.7	

Tableau 27 : Bermuda Insurance Linked Securities (ILS) Market Report

NB : Plusieurs places se structurent à l'image de la place de Singapour, Angleterre, Brésil et France pour attirer plus d'investisseurs⁵.

5.5 La réassurance frontée

Le format collatéralisé et les cats bonds permettent de réduire les coûts de transfert mais aussi de diversifier les sources de capitaux pour la cédante.

Cependant, l'usage de ce type de structure reste limité car elle est jugée comme complexe à mettre en œuvre par rapport à la réassurance traditionnelle.

Des structures alternatives à mi-chemin entre réassurance traditionnelle et réassurance financière dites de 'réassurance frontée' ont vu le jour pour palier à une partie de ces problèmes.

La réassurance frontée est similaire à la réassurance traditionnelle pour la cédante. La cédante cède ses risques à un réassureur dit 'fronteur' via un traité de réassurance traditionnelle, le réassureur fronteur quant à lui cède ses risques (via une rétrocession) à un fonds ILS.

Le réassureur fronteur est en charge de toute la structuration du traité de réassurance, ainsi que de la comptabilité.

5.5.1 Tarification via réassurance frontée

Le réassureur fronteur fait le lien entre la cédante et le fonds ILS, il touche une commission de la part du fonds ILS définie en pourcentage de la prime pour assurer ce lien. Cette commission est dite 'coûts de fronting'. La cédante n'a pas de lien direct avec le fonds.

⁵ https://info.ccr-re.com/fr/ils-show-1, CCR 23 février 2021, comment créer un ILS de droit français ?

Avec la réassurance frontée, le réassureur dit fronteur fait appel à des fonds ILS qui fournissent leurs capacités en lieu et place des rétrocessionnaires.

L'exigence de retour sur capital des ILS peut être différente de celle des rétrocessionnaires entrainant une baisse de prix.

Nous avons demandé à un courtier de coter la tranche TGN via réassurance frontée afin d'évaluer les gains avec ce type de couverture.

La réassurance frontée offre une baisse de la prime de l'ordre de 3%.

 $\pi_{réassurance\ frontée} = 97\% * \pi_{réassurance}$.

La baisse observée (-3%) par rapport à la réassurance traditionnelle s'explique dans notre cas par un choix de modèle tempête moins conservateur que celui utilisé par les autres réassureurs.

Cependant, il existe d'autres sources d'explication à cet écart, contrairement à la réassurance traditionnelle, le partage du sort est moins important avec ce type de réassurance (cf réassurance frontée 2-4).

5.5.2 Limites de la réassurance frontée

Les limites à l'utilisation de la réassurance frontée sont nombreuses:

- Les réassureurs ne font appel qu'à quelques fonds, ceux avec lesquels ils ont l'habitude de travailler. Ce qui peut réduire l'effet de levier c'est à dire les capacités attendues par ce type d'opération.
- Ce type d'opération nécessite une prise de décision rapide de PACIFICA, il faut en général plusieurs mois pour avoir le retour des investisseurs contre quelques semaines avec les réassureurs traditionnels.
 - Si une tempête majeure survient quelques mois avant l'émission, les investisseurs seront réticents à investir dans ce type de montage, et PACIFICA devra se tourner rapidement vers des couvertures de marché.

Il est courant pour les cédantes de négocier avec le réassureur fronteur une 'garantie de capacité' avant la mise en place de ce type de couverture, cette clause permet de garantir une capacité du réassureur fronteur en cas de difficulté de souscription auprès des investisseurs.

- Le risque de réputation est à prendre en compte dans le cas d'un tel montage. Les fonds ILS sont généralement localisés aux Bermudes où le régime fiscal est favorable à ce type d'opération (cf. réassurance collatéralisée).

NB : Contrairement à une opération de réassurance collatéralisée, l'intégration d'un réassureur au milieu de l'opération limite l'exposition aux risques de réputation pour PACIFICA.

Malgré de nombreux attraits, la réassurance frontée reste peu utilisée en France du fait du faible nombre d'acteurs (fonds et réassureurs fronteurs) sur le marché français.

5.6 Principaux impacts tarifaire réassurance traditionnelle, réassurance frontée, réassurance collatéralisée (schéma simple)

Une comparaison sur la base uniquement du prix donne un avantage à la réassurance frontée et à la réassurance collatéralisée (schéma simple avec uniquement un SPRV) au détriment de la réassurance traditionnelle (prime sur base 100).

La différence de prix entre la réassurance traditionnelle et la réassurance frontée s'explique principalement par le choix de modèle tempête retenu par le fronteur, par l'exigence de retour de capital du fonds ILS et par la clause de commutation.

- Pour évaluer l'impact du choix de modèle de réassureur fronteur, nous avons évalué l'écart d'OEP à 6 ans entre le modèle utilisé traditionnellement et celui du réassureur fronteur.
- Par simplification, nous avons supposé qu'avec la réassurance frontée les impacts étaient les mêmes entre exigence de retour de capital et clause de commutation.

NB : Nous n'avons pas intégré les couts de fronting qui sont en général payés par le fonds ILS au réassureur. Les couts de fronting couvrent la rédaction des traités, la mise en relation cédante-fonds, la réalisation des études actuarielles, le suivi de la comptabilité et la gestion des sinistres. Dans ce schéma, le fronteur est l'interlocuteur de la cédante.

La différence de prix entre la réassurance frontée et la réassurance collatéralisée s'explique principalement par les coûts de mise en place SPRV qui sont en général inférieurs aux coûts de fronting.

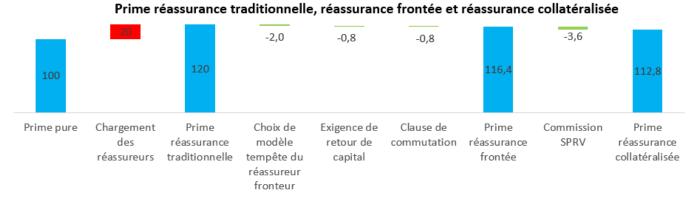


Figure 54 : Prime réassurance traditionnelle, réassurance frontée et réassurance collétéralisée

NB: Les fonds ILS qui pratiquent la réassurance collatéralisée sont des fonds avec une bonne connaissance des risques assurantiels BEN AMMAR, BRAUN, ELING [2015].

5.7 Principaux impacts tarifaire réassurance traditionnelle vs réassurance collatéralisée (schéma complexe Cat bonds)

La mise en place d'un cat bonds c'est-à-dire d'une opération de réassurance collatéralisée complexe (cat bonds avec plusieurs intermédiaires) est plus chère que les autres solutions de transferts étudiés :

- 134 pour la prime cat bonds, elle est très sensible au spread calculé avec la droite de marché.
- 140 si on intègre les frais de structuration. Les frais sont calculés sur les chiffrages réalisés par nos courtiers et par nos réassureurs. Nous disposons d'une petite marge sur ces frais car des éléments comme la notation ne sont plus forcément nécessaires, certains fonds qui se sont spécialisés dans la réassurance peuvent acheter des titres sans note.

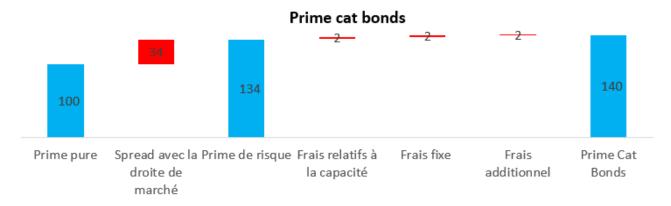


Figure 55: Prime cat bonds

Si on considère uniquement le prix, l'option réassurance collatéralisée est celle qui est la moins chère avec une prime de 113 contre 116 pour la réassurance frontée, 120 pour la réassurance traditionnelle et 140 pour la prime cat bonds.

Cependant, le prix ne doit pas masquer une grande disparité de traitement opérationnel ou dans le traitement en norme Solvabilité 2 (S2) notamment au niveau du SCR de défaut.

5.8 Impact sur le SCR

Solvabilité 2 (S2) est la directive européenne (2009/138/CE) qui définit le niveau de capital nécessaire (SCR) pour qu'une compagnie d'assurance puisse résister à un choc bicentenal

Le SCR se calcule comme une somme de capitaux élémentaires (BSCR), d'un capital pour risque opérationnel (SCR Opérationnel) et d'un ajustement pour impôt (Ajustement). Le BSCR correspond à l'agrégation de SCR calculé par module de risque (santé, marché, défaut, vie, non vie, incorporel) via une matrice de risque

5.8.1 SCR défaut

Le besoin en capital au titre du risque de défaut des réassureurs (SCR défaut) est calculé dans S2 à partir de la perte en cas de défaut de la contrepartie r (article 200 du règlement délégué 2016/36), correspondante aux expositions de type 1 (article 189 du règlement délégué 2016/16).

Les expositions de type 1 correspondent aux expositions liées aux contrats d'atténuation tels que réassurance, véhicule de titrisation (et titrisation) et les dérivés d'assurance.

Le SCR défaut est calculé en fonction du paramètre σ et du LGD pour les expositions type 1 :

$$SCR \ defaut, 1 = \begin{cases} 3\sigma & si \ \sigma \leq 7\% LGD \\ 5\sigma & si \ 7\% LGD < \sigma \leq 20\% LGD \\ LGD & si \ \sigma > 20\% LGD \end{cases}$$

Le σ correspond à l'écart type de la distribution des pertes des exposition de type 1.

Le LGD est décrit dans l'article 192 du règlement délégué 2016/36 comme le niveau de perte en cas de défaut pour le transfert de risque. Le calcul du LGD diffère en fonction du schéma de transfert sélectionné : contrat de réassurance, titrisation (Article 192-2), produit dérivé (Article 192-3) ou encore d'un prêt hypothécaire (Article 192-4).

Le LGD est calculé à partir des Best-Estimate cédés (BE cédés), des effets d'atténuation des SCR résultant des couvertures de réassurance dit RM, de la valeur pondérée de la sureté liée au traité de réassurance (collatéral) et d'un facteur F qui permet de prendre en compte l'effet économique du collatéral.

La 'valeur pondérée du collatéral' est la valeur du collatéral ajustée du risque de marché, par exemple si le collatéral est sous forme de titre, il faut intégrer le fait que ces titres peuvent aussi perdre de la valeur en cas de crise sur les marchés.

La valeur de marché des actifs détenus en sureté est définie dans l'article 75 de la directive S2, diminuée d'un ajustement pour tenir compte du risque de marché (article 197).

L'ajustement pour risque de marché peut être estimé de manière simplifié grâce à l'article 112 du Règlement Délégué (application d'un facteur de 85% ou de 75%, au lieu de refaire le calcul du SCR marché avec et sans collatéral).

Par ailleurs, il faut appliquer un abattement de 10% sur la valeur du collatéral afin de tenir compte de la non liquidation de l'actif ou de la non conservation du collatéral en cas de défaut du dépositaire (cf. article 197 (2) du Règlement Délégué)

Le facteur F permet aussi d'intégrer les clauses nécessaires pour récupérer les sommes dues en cas de pertes. Dans certains cas, le collatéral n'est pas récupéré de suite par la cédante (Article 197-7).

Pour un contrat de réassurance traditionnelle, la perte en cas de défaut se calcule comme suit (Article 192-2) :

```
LGD = \max(50\% * (Recoverables + 50\% * RM) - F * collateral pondéré; 0).
```

Pour un contrat de réassurance collatéralisée comme un cat bonds, c'est-à-dire un contrat de réassurance d'un pays tiers avec plus de 60% de l'actifs soumis à un contrat de sûreté (collatéral), la perte en cas de défaut se calcule comme suit (Article 192-2) : $LGD = \max(90\% * (Recoverables + 50\% * RM) - F * collateral pondéré; 0).$

Pour un contrat de réassurance dérivé c'est-à-dire un contrat dont les récupérations sont indexées sur un indice, la perte en cas de défaut se calcule comme suit (article 192-3) : $LGD = \max(90\% * (Derivatives + RM_{fin}) - F' * collateral pondéré; 0).$

NB : Depuis la revue de la Formule standard en 2019, l'EIOPA distingue 3 types de dérivés, modifiant les calculs pour les contrats de réassurance dérivé (mise à jour de l'article 192, amendement règlement délégué du 8 mars 2019). Par souci de simplification, nous n'avons pas repris ces éléments.

Un cat bonds indiciel rentre dans ce cas de figure.

Dérivatives représente la valeur du dérivé conformément à l'article 75 de la directive 2009/138/CE.

 RM_{fin} correspond à l'effet d'atténuation qu'a le dérivé sur le risque de marché.

Le facteur F' représente un facteur tenant compte de l'effet économique du contrat de sûreté en ce qui concerne le dérivé en cas d'événement de crédit concernant la contrepartie.

Pour utiliser les calculs ci-dessus, les opérations de réassurance (réassurance frontée, réassurance collatéralisée, cat bonds...) doivent être qualifiés comme telles par l'ACPR ainsi l'effet d'atténuation doit être prouvé, la couverture doit couvrir au moins les 12 prochains mois ou s'il donne lieu à un remplacement avant les 12 prochains mois, il faut que le remplacement se fasse sous certaines conditions (cf. article 209 à 214 du règlement délégué).

5.8.2 Exemple de calcul du SCR défaut

Afin d'illustrer les différences entre le calcul des pertes en cas de défaut pour chaque schéma, nous supposerons une capacité de 100 et une perte attendue de 10.

En général, la valeur de marche du collatéral pour le cat bonds et pour la réassurance collatéralisée correspond à la capacité. Nous faisons l'hypothèse d'une légère dévaluation de 10% du collatéral en vision 'mark to market'

Nous supposons ici que la contrepartie pour le cat bonds et la réassurance collatéralisée n'est pas notée. Les formules utilisées pour calculer le SCR de défaut sont celles de l'article 189 et suivants du règlement délégué SII.

A la mise en place, le SCR de défaut est nul avec la réassurance collatéralisée et le cat bonds.

SCR de défaut à la mise en place	Réassurance traditionnelle	Réassurance frontée	Réassurance collatéralisée	Catastrophe Bond
Loss Rate	50%	90%	90%	90%
Recoverables (Pertes				
attendues)	10	10	10	10
RM (Risk mitigation)	100	100	100	100
F (factor)			90%	90%
Collateral			85%*(1-10%)*C	85%*(1-10%)*C
LGD= max(LR% ×				
(Recoverables +				
$50\% * RM) - F \times$				
collateral; 0)	30	54	0	0
Note	Α	Α	Unrated & non SII	Unrated & non SII
Probabilité de défaut	0,05%	0,05%	4,20%	4,20%
SCR de défaut	2	4	0	0

Tableau 28 : SCR de défaut à la mise en place

Il est à noter que dans le cadre de la réassurance collatéralisée et du cat bonds, la présence d'un collatéral permet d'avoir un risque de contrepartie nul.

Dans le cadre de la réassurance frontée, la présence d'un collatéral dans l'opération n'a pas d'impact sur le risque de contrepartie de la cédante.

Nous nous sommes limités à quantifier les impacts sur le SCR de défaut du passage d'une couverture traditionnelle à une couverture financière. Il est à noter que le changement de couverture entrainerait aussi un impact sur le SCR global sous l'effet de la matrice d'agrégation.

NB : Ici, nous avons fait l'hypothèse que nous conservons la même couverture sur plusieurs années avec un Risk mitigation à 100.

5.8.3 SCR Catastrophe naturelle

Le besoin en capital au titre du risque catastrophes naturelles (SCR natcat, article 120 à 127 du règlement délégué 2016/36) est calculé dans S2 à partir de scénario de perte tempête, grêle, inondation, séisme et affaissement de terrain et du niveau de protection sélectionné (portée, priorité, reconstitution).

NB: Le SCR natcat est une composante du SCR non vie.

Les couvertures que nous avons retenues ont le même impact sur le SCR nat cat car elles ont été construites avec le même niveau de priorité, portée et le même nombre de reconstitution.

NB : Dans la pratique, il est complexe d'avoir des reconstitutions avec les cats bonds car les régulateurs sont très attachés à ce que le collatéral soit égal à 100% de la capacité.

S'il y a des reconstitutions, les investisseurs devront fournir un collatéral correspondant à la capacité fournie et donc bloquer ce montant sur la durée de l'investissement.

Les tranches 'reconstitués' sont faiblement sinistrées, elles ont plus de mal à attirer les investisseurs car elles sont moins rémunératrices.

5.8.4 SCR marché

Le besoin en capital au titre du risque de marché (SCR marché, article 164 à 173 du règlement délégué 2016/36) est calculé dans S2 à partir de scénario sur les taux d'intérêts, sur les actions, sur les actifs immobiliers, sur la marge, sur la concentration et sur les devises.

L'intégration d'un collatéral (avec dépôt d'espèce) ou un dépôt d'espèce de la part du réassureur entraine une hausse des actifs de PACIFICA et donc une hausse du SCR marché.

5.8.5 Synthèse des impacts sur le SCR

Le SCR correspond au besoin de capital d'une compagnie d'assurance pour exercer. Le choix de couverture a un impact sur le niveau du SCR or une immobilisation plus importante de capital a un coût.

Pour exprimer ce coût, nous faisons l'hypothèse que l'immobilisation de capital résultant du SCR a un coût de 6% correspondant au coût du capital risk margin (article 39 du règlement délégué 2016/36).

Pour exprimer ce coût, nous faisons l'hypothèse de l'absence d'effet de diversification dans le calcul du SCR autrement dit nous faisons ainsi l'hypothèse que les sous module du SCR se somment.

Impact sur le coût du capital	Réassurance traditionnelle	Réassurance frontée	Réassurance collatéralisée	Catastrophe Bond
SCR natcat	0	0	0	0*
SCR marché	0**	0**	0**	0**
SCR de défaut	2	4	0	0
Impact sur la somme des SCR en supposant l'absence de diversification et l'absence d'impact sur les autres SCR	2	4	0	0
Coût de l'immobilisation du capital (SCR) avec une hypothèse à 6%	0,12% de la capacité	0,24% de la capacité	0	0

Tableau 29 : Impact sur le coût du capital

Il est à noter qu'en général, le SCR natcat est plus élévé avec le cat bonds Le SCR marché est fonction du collatéral retenu ou de la garantie fournie par le réassureur

5.9 Comparaison des couvertures de protection pour PACIFICA

Nous avons analysé les prix et l'impact sur le SCR de défaut des différentes opérations de transfert dans les chapitres précédents. Cependant avant la mise en place d'une telle protection, d'autres caractéristiques doivent être étudier.

Ainsi, nous avons défini quelques critères permettant la comparabilité des options tels que la disponibilité de la solution, la durée de mise en place, la contrepartie ainsi que la durée de la solution.

Afin de pouvoir juger de la qualité des options, nous avons synthétisé les éléments issus de plusieurs articles et livres (Ali ISHAQ [2005], Pauline Barrieu et Luca Albertin [2009] et Semir Ben Ammar, Alexander Braun et Martin Eling [2015]) qui proposent des comparaisons entre ces couvertures

Nous avons par ailleurs demandé à nos courtiers quelques éléments de comparaison entre les couvertures.

D'un point de vue économique, la réassurance collatéralisée est le moins chère des solutions cependant d'autres indicateurs doivent être étudiés.

Pour la	Réassurance Réassurance Réassurance		Réassurance	Catastrophe Bond
cédante	traditionnelle	frontée	collatéralisée	(titrisation)
Coût de la couverture	120	116	113	140
Coût de la transaction (Estimé à partir de plusieurs études externes)	Moyen	Moyen	Moyen	Elevé (le caractère pluriannuel de ce genre de protection permet de contrebalancer le coût de la transaction.)
Opacité de la	++++	+++	++	++
tarification	Basée sur un jugement d'expert	Basée sur un jugement d'expert	Exigence du SPRV avec éventuel mark to market	Mark to market : Comparaison avec d'autres actifs
Disponibilité de la solution	Dispo pour presque tous les risques	Dispo pour presque tous les risques	Principalement pour les risques climatiques	Principalement pour les risques climatiques
Mise en place de la solution	3-4 semaines	3-4 mois	3-4 mois	3-4 mois
Taille minimum	Pas de minimum	Pas de minimum	Pas de minimum	70M de capacité (valeur minimale estimée par courtier)
Reconstitution	A négocier	A négocier	Difficile d'avoir une reconstitution	Difficile d'avoir une reconstitution.
Durée de la solution	1 an à 3 ans	1 an à 3 ans	1 an à 3 ans	3 à 6 ans (permet de lisser les coûts fixes)
Contrepartie	Réassureur	Réassureur ou Banque	SPRV	FCC ou SPV
Traitement dans S2	SCR contrepartie (lié à la note du réassureur) 0,12% de la capacité dans	SCR contrepartie (lié à la note du réassureur ou collatéral) 0,24% de la capacité	SCR contrepartie proche de 0	SCR contrepartie proche de 0
<u> </u>	notre exemple	dans notre exemple		
Risque de base	Faible, généralement trigger indemnitaire	Faible, généralement trigger indemnitaire	Fonction du trigger sélectionné	Fonction du trigger sélectionné
Risque juridique*	+	++	+++	++++
Complexité	+	++	+++	++++
Risque de réputation	+	++	+++	++++

Tableau 30 : Différences principales entre les couvertures

A l'issue de nos analyses, nous excluons la structure cat bonds car nous considérons cette structure comme chère et lourde à mettre en place par rapport aux bénéfices estimées. Par ailleurs, la reconnaissance dans S2 d'une telle structure est complexe. Le cat bonds pourrait devenir intéressante en condition de 'hard market' (cycle haut).

Il est plutôt d'usage de réaliser des cat bonds sur la partie haute du programme (période de retour élevée) afin de bénéficier de spread plus intéressant par rapport à des spreads de réassurance.

NB : Depuis quelques années, des cat bonds à faible capacité (10m€ à 50m€ de capacité) ont vu le jour. Ces opérations sont plus simples à mettre en place, elles nécessitent une agence de modélisation et elles se font directement avec des investisseurs

Nous excluons la réassurance collatéralisée car même si elle permet de bénéficier de bonne condition tarifaire, la reconnaissance de la structure comme opération de réassurance par l'autorité de contrôle d'une part et le risque de réputation d'autre part sont des freins très importants à la mise en place d'une telle structure.

Pour mettre en place la sous-jacente, nous privilégions une opération de réassurance traditionnelle ou une opération de réassurance frontée.

L'opération de réassurance frontée permet d'avoir un accompagnement de la part du réassureur dans une opération financière simple avec une prime commerciale intéressante par rapport à la réassurance traditionnelle (baisse estimée de 3% de la prime commerciale) mais le gain financier est relativement faible si on intègre les impacts sur le SCR défaut. Au-delà de la rentabilité économique, l'opération de réassurance frontée nous permettrait de réduire notre dépendance vis-à-vis du marché de la réassurance traditionnelle, de garantir un prix sur plusieurs années et de nous faciliter le passage vers une opération plus financière par la suite.

L'opération de réassurance traditionnelle présente l'avantage de la simplicité et de la réactivité, des structures proches sont déjà présentes en interne. Les réassureurs peuvent nous fournir une cotation assez rapidement.

Conclusion

Au travers de ce mémoire, nous avons analysé les sources de déviation du résultat technique à 10 ans pour PACIFICA. Par déviation 10 ans, nous entendons la dérive de la sinistralité entre un niveau maximum à horizon 10 ans et une charge moyenne.

Nous avons identifié que les principales sources de déviation brute de réassurance étaient les risques climatiques.

La structure de réassurance actuelle permet d'atténuer à un très bon niveau la déviation et la volatilité du résultat. Cependant, après application de la réassurance, le niveau de déviation résiduelle reste supérieur au seuil d'acceptabilité de l'entreprise.

Nous avons observé que l'atténuation de la déviation résultant de la réassurance n'était pas homogène et qu'il restait sur les risques climatiques quelques sources de déviation résiduelles importantes. Nous avons proposé des ajustements de la structure de réassurance existante sur les risques tempête et grêle afin de réduire la déviation résiduelle au niveau du seuil d'acceptabilité de l'entreprise.

Dans un premier temps, nous avons proposé la mise en place d'une couverture de réassurance traditionnelle pour couvrir la déviation additionnelle (écart entre déviation résiduelle actuelle et celle souhaitée).

Plusieurs options (Stop Loss, Quote Part, XS) ont été testé, il ressort de nos analyses que la mise en place d'un traité en XS sous-jacent sur le périmètre des tempêtes et grêles de faible importance permet de réduire la déviation au niveau souhaité.

Le marché de la réassurance traditionnelle est très efficient, cependant la couverture via la réassurance traditionnelle nous expose à une forme de dépendance vis-à-vis du marché de la réassurance compte tenu de la forte concentration du secteur.

Afin de pallier ces contraintes, nous avons étudié des solutions alternatives à la réassurance traditionnelle via la mise en place de couverture de réassurance financière.

Nous avons proposé la mise en place d'une réassurance financière pure via un cat bonds. Cette opération pourrait représenter une véritable opportunité en interne car elle nous permettrait de diversifier nos sources de capitaux.

Compte tenu de notre souhait de transférer de la charge proche de la priorité de notre programme actuel, la réalisation d'un cat bonds a été identifié comme peu adaptée en raison de son coût et de l'absence de reconstitution.

Nous avons ensuite étudié des schémas de transfert à mi-chemin entre réassurance financière et réassurance traditionnelle comme la réassurance frontée et la réassurance collatéralisée. Ces solutions ont été comparé à la réassurance traditionnelle et au cat bonds.

La réassurance collatéralisée a été identifié comme la solution de transfert la moins coûteuse cependant elle nécessite un effort de transparence et de standardisation du montage pour convaincre les fonds ILS de nous suivre sur ce type d'opération.

La réassurance frontée a été identifié comme un passage nécessaire vers la mise en place d'opérations plus financières.

Les différents montages ont été évalué sur la base de critères qualitatifs et quantitatifs arbitraires.

Préalablement à la mise en place d'une telle opération, d'autres critères doivent être intégrés : Il faudrait évaluer le niveau de dépendance de PACIFICA aux réassureurs, quantifier les impacts sur le SCR global des protections, quantifier l'impact du risque de réputation ou encore mesurer les coûts cachés de chacune de ces opérations (impacts de la communication à la concurrence d'informations sur notre rentabilité par exemple).

Ces éléments sont complexes à mesurer mais ils sont nécessaires pour envisager de mettre en place sereinement une telle structure dans le futur.

Ce mémoire nous a permis d'identifier les sources de déviation résiduelle. Nos travaux nous ont permis de mettre en avant plusieurs techniques qui ne reste que des moyens pour réduire la déviation.

Il reste cependant indispensable de clairement compléter le cadre de structuration de la réassurance via d'autres critères avant de pouvoir mettre en place une couverture et utiliser l'une de ces solutions de transfert.

Bibliographie

AGENOS Xavier (2010), Appétit pour le risque et gestion stratégique d'une société d'assurance non-vie – application aux stratégies d'investissements et de réassurance –Mémoire IA CEA.

AON BENFIELD (2020), Reinsurance Market Outlook janvier 2020, AON BENFIELD.

AON (2012), Strong demand boosts ILW market, Insurance ERM.

APREF (2016), Cartographie des risques majeurs établie par l'APREF Juin 2016, APREF.

APREF (2018), Synthèse des études menées par la Commission Réassurance et Prospective de l'APREF sur le sujet de La Compétitivité de la France, APREF.

APREF (2018_2), *Réassurance et enquête de l'APREF International-France*, conférence de presse l'APREF du 09/09/2018, APREF.

ARTEMIS (2021), Q4 2020 Catastrophe Bond & ILS Market Report, ARTEMIS.

BARRIEU Pauline et ALBERTINI Lucas (2009), *Handbook of Insurance Linked Securities*, edition Wiley, p65-p83.

BARROS Myriam et DELIGNON Bertrand (2009) - *Enjeux et perspectives de la titrisation du risque de masse en assurance dommage* - mémoire d'actuariat CEA.

BEN AMMAR Semir, BRAUN Alexander, ELING Martin (2015), *Alternative Risk Transfer and Insurance-Linked Securities: Trends, Challenges and New Market Opportunities*, édition University of Saint Gallen,, p51-p53.

Bermuda monetary auhority (2018), *Bermuda Insurance-Linked Securities (ILS) Market Report* publié en decembre 2018.

BOURGEOIS Blaise et POUGNET Gwnendal (2008), Réassurance et techniques financières de transfert de risque - l'exemple du 'mortality bond' : une obligation indexée au risque de (sur)mortalité - mémoire d'actuariat IA, CEA.

BLONDEAU Jacques, PARTRAT Christian (2003), *La réassurance, approche technique* – Edition Economica, janvier 2003, collection gestion.

CADOUX David et LOIZEAU Jean Marc (2004), COPULES ET DEPENDANCES : APPLICATION PRATIQUE A LA DETERMINATION DU BESOIN EN FONDS PROPRES D'UN ASSUREUR NON VIE, bulletin français d'actuariat.

CAUSSARIEU Valery (2018) – Mise en œuvre d'une démarche ERM pour définir un cadre de structuration de la réassurance – Rapport de projet Expert ERM, IRM.

CUMMINS, J. D. (2004), Securitization of life insurance assets and liabilities, Journal of Risk and Insurance, Edition The Wharton School.

DUBREUIL Emmanuel (2009), La titrisation des grands risques : Évolution ou Révolution ? Journées d'économie et d'économétrie de la réassurance, Aon Benfield Analytics.

EIOPA (2013), 20131202 eiopa helper tab cat Extrait du Helper tab, EIOPA.

FFA (2018), Les assurances de biens et de responsabilité, Données clés 2017, Historique des événements naturels France (Cat Nat et TGN) depuis 1988.

Guy Carpenter 2019, Global property Catastrophe ROL index: 1990-2019, Guy Carpenter.

GRANIER Thierry GRANIER et JAFFEUX Corynne (2004), La titrisation, aspect juridique et financier, édition Broché.

Ils Team Swiss RE (2012), *The fundamentals of insurance-linked Securities*, édition Swiss Re, 2011.

ISHAQ Ali (2006), Reinsuring for Catastrophes through Industry Loss Warranties – A Practical Approach, Casualty Actuarial societyforum, spring 2006.

LANE M.N. (2000), Pricing risk transfer transactions – ASTIN Bulletin 30.

LOPES David (2016), *Risque Tempête : Modélisation de la sinistralité et impact tarifaire* – Mémoire d'actuariat IA, CEA.

MARIN Raphael (2012), *Garantie de mortalité et couverture du risque de longévité*, mémoire d'actuariat IA. ISFA.

MEIER Ursina et OUTREVILLE François (2003), The reinsurance price and the insurance cycle, Paper for the European Group of Risk and Insurance Economist (EGRIE), Zurich.

MICHEL-KERJAN Erwann (2003), *Terrorisme à grande échelle partage de risques et politiques publiques*, Revue d'économie politique 2003/6.

Munich Re 2014, ILS market update Q2 2014, Munich Re.

PARTRAT Christian, BESSON Jean-Luc (2006), Assurance non-vie, modélisation, simulation – Edition Economica.

POULIN Mathieu (2012), Analyse des solutions actuarielles en tarification des traités de réassurance non-proportionnels Non-vie, mémoire d'actuariat IA, CEA.

PRADIER Eric (2011), *Théorie des copules et application à la VaR*, Extrait du cours d'Eric PRADIER donné à l'ENSIMAG.

RENNGLI Dominik, BUTTNER Annemarie (2017): Return period estimates of historical European winter storm clusters: A multi-model perspective, Swiss RE.

SAPORTA Gilbert (2011), *Probabilités, analyses des données et statistiques*, Editions Etude (broché).

SCOPE Ratings (2019) , *Idealised Expected loss and default probability tables explained*, SCOPE.

WILSON, HILFERTY (1931), the distribution of chi-square, National Academy of sciences.

Annexe

1 Exemple de mise en as if (charge inondation)

Pour mettre en as if la charge annuelle inondation de l'année j à fin de l'année N, nous isolons la charge automobile (DA) et la charge dommages aux biens (DAB) pour chaque année. Puis nous actualisons chaque charge :

```
 \begin{array}{l} \textit{Charge actualis\'ee PCK}_{ann\'ee\ j} = \textit{Charge DA actualis\'ee PCK}_{ann\'ee\ j} + \\ \textit{Charge DAB actualis\'ee PCK}_{ann\'ee\ j} \\ = \sum_{k=1}^{96} \textit{Charge DA PCK}_{ann\'ee\ j} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ A4}{Ann\'ee\ assurance\ A4} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ A4}{Ann\'ee\ assurance\ A4} \\ * \frac{E^{e}paration\ auto_{ann\'ee\ j}}{Ann\'ee\ assurance\ A4} \\ * \frac{E^{e}paration\ auto_{ann\'ee\ j}}{Ann\'ee\ assurance\ A4} \\ * \frac{E^{e}pann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N}} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ Ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ Ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ Ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ assurance\ MH\ ann\'ee\ N} \\ * \frac{Ann\'ee\ N}{Ann\'ee\ N} \\ * \frac{A
```

2 Recensement des événements marché marquants

La FFA [2018] et l'APREF [2016] ont fait un recensement des événements marché les plus marquants de 1988-2017 pour la FFA (événements climatiques) et à une période de retour comprise entre 100 et 260 ans pour l'APREF.

Ces éléments permettent d'intégrer des risques existants mais non survenus sur le portefeuille.

Historique des événements naturels France (Cat Nat et TGN) depuis 1988 :

k : département de France métropolitaine de 1 à 96

La FFA a réalisé un recensement des principaux événements naturels (Catastrophes Naturelles et TGN) à partir des données FFA et CCR sur la période 1988-2017 (vu au 18 mai 2018) :

Principaux événements naturels depuis 1988 (Cat-Nat + TGN)

au 18 mai 2018	1)		Coût marc	ché national
Régime d'assurance	Exercice de survenance	Désignation de l'événement	en M €	en M€ constants ((indice FFB
Cat-Nat	2017	Subsidence	775	775
Cat-Nat	2017	Cyclone Irma St Martin et St Barthélemy/6-18 sept	2 004	2 004
Cat-Nat	2016	Subsidence	600	619
Cat-Nat	2016	Inondations bassins Seine et Loire/mai-juin	1 440	1 485
Cat-Nat	2015	Inondations et crue éclair dans le SE/3 oct.	600	621
TGN	2014	Orages de grêle France/8-10 juin	850	884
TGN	2013	Orages de grêle France/été	850	893
Cat-Nat	2011	Subsidence	740	813
Cat-Nat	2010	Inondations du Var/juin	615	707
Cat-Nat	2010	Inondations tempête Xynthia/février	745	857
TGN	2010	Tempête Xynthia/février	735	845
TGN	2009	Tempête Klaus/janvier	1 680	2 004
Cat-Nat	2003	Subsidence	1 300	1 956
Cat-Nat	2003	Inondations du Rhône/décembre	670	1 008
Cat-Nat	2002	Inondations du Gard/septembre	700	1 092
TGN	1999	Tempête Lothar et Martin/février	6 860	11 781
Cat-Nat	1996	Subsidence	360	649
Cat-Nat	1995	Inondations du Nord/janvier-février	360	665
TGN	1990	Tempête Daria/février	1 315	2 907
Cat-Nat	1990	Subsidence	355	785
Cat-Nat	1988	Inondations Nîmes/octobre	290	686

Figure 56 : Les assurances de biens et de responsabilité, Données clés 2017, FFA [2018]

Principaux événements France sur 100 ans estimées par l'APREF :

L'APREF a réalisé un recensement de l'historique des évènements majeurs sur un horizon 100 ans (liste non exhaustive) mise en as if 2016 (montant de dommages) :

> Principaux événements supérieurs à 2 mds euros sur 100 ans

Année	Dommages est. mds euros (source)	Туре	Branches
1910	20/25	Inondation Paris	Dommages, immatériels
1959	2/3	Rupture barrage Fréjus	Dommages, Vie
1978	2,5 (AMURE)	Pollution Amoco Cadiz	Dommages, environnement
1990	8,2 (AFA)	Tempête Lothar/Martin	Dommages, immatériels
1999	11,5 (AFA)	Tempête Lothar	Dommages, immatériels
2001	3	Accident techn. AZF	Dommages, immatériels
2003	3, 8 (AFA)	Canicule	Dommages, Vie
2009	4,8 (AFA)	Tempête Klaus	Dommages, immatériels
2010	3,6 (AFA)	Tempête Xynthia	Dommages, immatériels
2015	2 (Trésor)	Terrorisme Bataclan	Vie, immatériels, dommages

Figure 57 : Projet de cartographie des risques majeurs, Risk Management France, APREF [2016]

Cette estimation par l'APREF [2016] vu en as if 2016 des événements passés France, incluent les biens, les personnes, les dommages immatériels, la non assurance, la sous assurance et les biens publics.

3 Modélisation tempête, grêle, neige et gestion des dépendances

Modélisation du risque tempête

A) Evaluation des sommes assurées :

La somme assurée définit l'engagement de l'assureur en cas de survenance d'un sinistre. Elle correspond généralement à la valeur du bien assuré (maison, véhicule...).

On distingue généralement trois types de sommes assurées : le bien (bâti, entreprise, bateau, automobile), le contenu et les pertes d'exploitation.

La valorisation des biens dépend des conditions générales du contrat, elle peut représenter la valeur vénale ou la valeur à neuf du bien.

Pour une maison par exemple, la valeur vénale est la valeur du bien en cas de revente aux conditions de marché. La valeur à neuf est la valeur pour reconstruire la maison à l'identique. Pour estimer la valeur d'une maison, les hypothèses doivent permettre d'évaluer le coût en cas de destruction totale de la maison.

La valorisation dépend aussi des garanties du contrat qui peuvent couvrir le contenu. Pour certains contrats habitation, la valeur des appareils électroménagers, du mobilier et autres contenus (bijoux...) sont couverts en cas de sinistres.

La valorisation des pertes d'exploitation est spécifique aux assurances professionnelles. Elle vise à quantifier les conséquences financières de l'arrêt de la production lorsque cet arrêt est la conséquence d'un événement assuré, une tempête par exemple

La valorisation du portefeuille est très sensible aux conditions du contrat, aux formules commerciales souscrites, aux hypothèses retenues et aux informations disponibles dans les bases de données de l'entreprise, à la géolocalisation des biens (spécificités régionales de construction).

B) Géolocalisation:

Les risques climatiques sont des phénomènes inégaux en termes d'intensité sur le territoire. Pour modéliser ces risques au mieux, nous avons recours à des informations géo localisées.

Ces informations permettent de mieux prendre en compte les caractéristiques physiques des évènements modélisés (cf. LOPES [2016]).

Les modèles tempête utilisent souvent des informations locales pour modéliser les vitesses de vents.

La vitesse du vent au niveau local dépend du terrain, elle dépend fortement de la friction du vent contre le terrain (rugosité du sol) et de la topographie locale (les forêts freinent les vents, vents plus élevés en altitude...).

Les modèles tempête génèrent en général une vitesse à une maille département, puis ils utilisent un modèle de descente d'échelle pour tenir compte de l'effet de terrain local.

Ces modèles de descentes d'échelle sont des modèles avec une grille plus fine et contenant des informations sur la topographie locale.

Ils sont utilisés pour transformer la vitesse du vent libre (non affectée par le terrain) définie à la maille département en vitesse du vent réel c'est-à-dire au niveau local.

L'affectation des biens à une zone précise permet de prendre en compte les caractéristiques locales des phénomènes physiques simulés et donc d'utiliser des taux de destruction plus adaptés.

C) Modélisation marché:

Les modèles climatiques sont généralement composés de 4 modules : Un module aléa, un module exposition, un module vulnérabilité et un module financier.

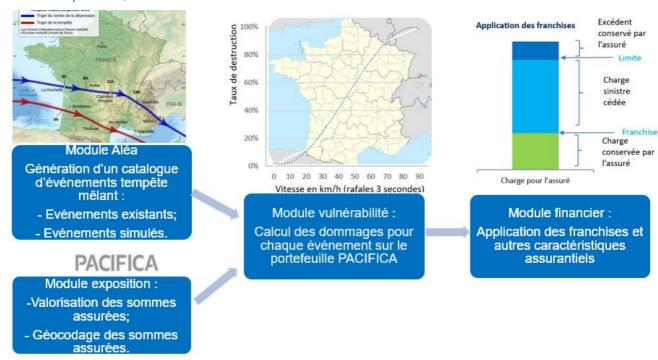


Figure 58 : Modélisation marché tempête

Le module 'aléa' vise à reproduire les caractéristiques physiques des périls modélisés.

Pour le modèle tempête, par caractéristique physique, nous entendons la vitesse de vent, la localisation de la tempête, son étendue, sa trace, sa durée.

Le module aléa repose sur un catalogue de tempêtes historiques complétées par des tempêtes 'stochastiques'. Les caractéristiques des tempêtes stochastiques sont reproduites à partir des caractéristiques des tempêtes historiques et des connaissances physiques du phénomène afin de construire des catalogues d'évènement simulés 'réalistes'.

Le module 'exposition' vise à intégrer au modèle les caractéristiques des risques assurés et leur géolocalisation. Les caractéristiques et spécificités du portefeuille sont intégrées dans ce module c'est-à-dire les sommes assurées et leurs géolocalisations.

Le module 'vulnérabilité' vise à calculer les dommages créés par un événement (issu du module aléa) sur le portefeuille (issu du module exposition).

Pour estimer les dommages créés par une tempête, les modèles intègrent généralement des courbes de destruction, ces courbes associent à une vitesse de vent, un taux de destruction ou niveau de perte sur les sommes assurées.

Ces courbes de destructions sont spécifiques à la nature du bien assuré (habitation, commercial, industriel, automobile ou agricole). Ces courbes sont généralement extraites d'analyses des taux de destruction observés sur le terrain et de travaux complémentaires en laboratoire de résistance des bâtis c'est à dire réalisés en soufflerie.

Le module 'financier' vise à appliquer les franchises, et les autres caractéristiques financières des contrats. Ainsi, les conditions des traités de réassurance sont appliquées au sein de ce module.

Sélection du modèle tempête

A) Notation du modèle :

PACIFICA dispose des 3 modèles marché (AIR, RQE et RMS), afin de sélectionner un modèle nous avons défini des critères qualitatifs et quantitatifs. Ces tests permettent de comparer les modèles les uns aux autres.

Les tests qualitatifs visent à évaluer la qualité des méthodologies développées dans les modèles tiers. Nous analysons et comparons les hypothèses retenues et l'exhaustivité des modèles sur la base des documentations disponibles.

Les tests quantitatifs permettent d'évaluer la fiabilité des sorties des modèles tiers, elle repose sur la confrontation des sorties de modèles avec la sinistralité observée sur le portefeuille ou la sinistralité marché lorsque la sinistralité portefeuille n'est pas suffisante, par exemple pour les évènements extrêmes.

Pour chaque test, une note est calculée. Le modèle que nous retenons est celui qui permet de maximiser le score global des tests qualitatifs et quantitatifs.

Les principaux tests quantitatifs sont les suivants :

- Les tests sur la charge annuelle consistent à évaluer la capacité du modèle à reproduire la charge annuelle historique observée à différents quantiles (AEP).
- Les tests sur l'OEP consistent à évaluer la capacité du modèle à reproduire les événements annuels maximums historique à différents quantiles (OEP).
- Les tests sur la charge historique annuelle redressée (Burning Cost) consistent à évaluer la capacité du modèle à reproduire une charge moyenne sur des petites tranches XS.
- Les tests sur les périodes de retour (PR) des événements extrêmes visent à comparer les PR de quelques événements historiques par rapport à notre vision des PR.
- Les tests sur la fréquence évaluent la capacité du modèle à reproduire un cluster de tempête c'est-à-dire une année avec plusieurs tempêtes.
- Des tests de cohérence par branche sont utilisées pour comparer la répartition de la charge modélisée par branche à la charge historique par branche.

A titre illustratif, nous allons présenter un exemple de test quantitatif et un exemple de test qualitatif.

Exemple de tests quantitatifs :

Un de nos tests porte sur les AEP des petites périodes de retour et consiste à mesurer la distance entre courbes AEP historique et AEP des modèles à différentes périodes de retour. Ce test vise à estimer l'écart (I1) entre la fonction modélisée et la distribution historique pour chaque période de retour. Le meilleur modèle est celui qui minimise la distance entre l'AEP théorique et l'AEP historique.

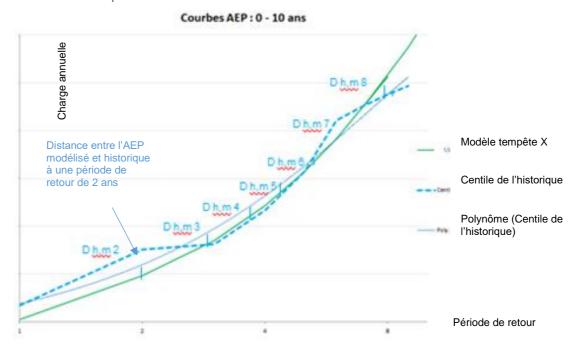


Figure 59: Tests sur les courbes AEP: 0-10 ans

Ce test consiste à mesurer la distance entre les courbes AEP historique et AEP des modèles à différentes de période retour.

Nous estimons l'AEP historique à partir d'une approximation de la fonction centile.

$$I1 = \frac{1}{9} \sum_{i=2}^{10} Qi \qquad Qi = \frac{(AEPM(rpi) - (AEPH(rpi))^2}{AEPH(rpi)^2}.$$

Avec : AEPH = AEP historique / AEPM = AEP modélisé / rpi = période de retour i

Ce test présente l'avantage d'être simple à interpréter car nous comparons des distances entre la fonction modélisée et la fonction historique. Une des limites de ce test repose sur la pertinence de l'AEP historique. La courbe représentant l'AEP historique n'est pas complétement lisse, elle nécessite quelques ajustements. En effet, l'AEP historique est calculée sur l'historique et peut présenter des grandes variations.

Pour les tests qualitatifs, nous avons choisi de nous concentrer sur 4 thématiques : aléa, vulnérabilité, financier et la gestion des changements. Ces thématiques correspondent aux modules des modèles.

Exemple de tests qualitatifs :

Un de nos tests qualitatifs consiste à évaluer la capacité à modéliser le phénomène de submersion marine consécutif à une tempête (storm surge). Ces submersions résultent d'ondes marines provoquées par la tempête et correspondent à la hausse au-dessus du niveau normal de l'eau le long d'un rivage résultant de vents forts observés au large.

Ce test consiste à évaluer sur la base de la documentation des modèles, la présence d'un module storm surge dans le modèle et la qualité de la méthodologie utilisée pour le modéliser.

Score	Performance
1	Le sous-péril est explicitement modélisé. La modélisation physique mis en œuvre est décrite et la méthodologie est jugée pertinente. Prise en compte des storm surge (onde de tempête, hausse audessus du niveau normal de l'eau le long d'un rivage résultant de vents forts au large et / ou basse pression associés aux cyclones tropicaux et extratropicaux), modélisation des périls automobiles,
0.75	Le sous-péril est explicitement modélisé. La modélisation physique mis en œuvre est décrite dans une certaine mesure et la méthodologie apparaît comme pertinente. Il y a une certaine incertitude dans cette évaluation en raison d'un manque de documentation.
0.5	Le sous-péril est explicitement modélisé. Des indications sur la méthodologie sont fournies, mais ne sont pas suffisantes pour juger de la qualité de la modélisation.
0.25	Le sous-péril est dit explicitement modélisé, mais sans plus de détails.
0	Il n'y a aucune mention d'une modélisation explicite du sous-péril.

Tableau 31: Performance tests qualitatifs storm surge

B) Choix du modèle tempête :

Les tests quantitatifs et qualitatifs permettent de noter chaque modèle tiers de manière indépendante.

A partir de ces modèles, nous pouvons construire des nouveaux modèles dit 'mélange' ou blend comme la combinaison de plusieurs modèles. Ces modèles 'blend' correspondent à une pondération entre les modèles tiers permettant de constituer un nouveau modèle

Ces modèles 'blend' peuvent permettre d'améliorer les tests qualitatifs et quantitatifs.

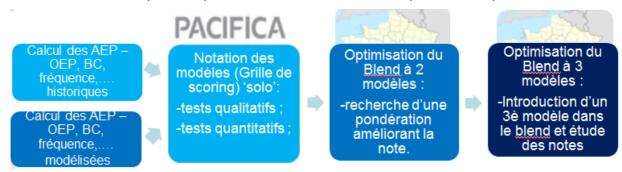


Figure 60 : Modèle 'blend'

La notation des modèles 'solo' permet d'initialiser la pondération pour la recherche d'un optimum à 2 modèles puis d'un optimum à 3 modèles (nous ne pouvons tester toutes les pondérations possibles car cela est long en temps de simulation).

Après avoir construit, les blends à 2 ou 3 modèles, nous faisons un choix entre le 'meilleur modèle solo', 'le meilleur blend à 2 modèles' et le meilleur blend à 3 modèles. Nous retenons le modèle permettant d'améliorer la note de manière significative.

L'utilisation d'un blend présente l'avantage de réduire la dépendance à un changement de modèle marché, mise à jour du modèle marché.

Le principal inconvénient du blend est mathématique, nous créons un modèle qui mélange sur la base d'un poids des distributions statistiques, sans en vérifier la cohérence statistique. Le modèle mélange peut se traduire par des éventuels sauts dans la distribution par exemple.

Autres modèles et gestion des dépendances :

Nous modélisons les périls tempête, grêle, neige et cyclone dans notre DFA.

La modélisation grêle est réalisée via 2 modèles, un modèle climatique pour les événements supérieurs à un seuil et un modèle fréquence-sévérité pour les autres événements. Sur les petits événements, nous privilégions notre historique qui reflète bien notre exposition aux risques.

La modélisation cyclonique est réalisée via un modèle climatique dont l'approche est similaire à celle du modèle tempête.

La modélisation neige est réalisée via un modèle fréquence-coût. Nous ajustons deux lois : une de fréquence et une de sévérité sur la base des données historiques.

Pour chaque péril, nous disposons de plusieurs modèles. Ces modèles reposent sur des choix d'hypothèses et des méthodologies propres aussi ils donnent des résultats différents. Nous réalisons une sélection qui permet d'objectiver le choix d'un modèle lorsqu'il y en a plusieurs.

Nous avons fait le choix de ne pas modéliser de dépendance spécifique entre les modèles comme vu précédemment ; cependant certains modèles intègrent de la dépendance entre branches.

La dépendance entre les modèles climatiques tempête, cyclone, neige et grêle n'est pas modélisée, car il n'y a pas de lien entre ces types d'événements.

La dépendance intra-branches, c'est-à-dire entre les branches dommages aux biens et automobile, est modélisée pour chacun des modèles.

Pour le modèle grêle, les hypothèses du modèle marché de répartition des charges DAB et automobile ne sont pas cohérentes avec la répartition de la charge historique, aussi nous avons fait le choix d'utiliser un modèle agrégé puis de ventiler la charge simulée entre les deux branches à partir de nos statistiques historiques.

4 Marché de la réassurance

Les réassureurs peuvent réassurer les risques transférés par les cédantes car ils diversifient les risques acceptés tant géographiquement que techniquement (vie et non vie).

La recherche de diversification géographique s'est traduite par de nombreux regroupements notamment via des fusions acquisitions avec une tendance à la consolidation des principaux réassureurs.

La part de marché mondiale du Top 10 (évaluée à partir des primes extraites des rapports annuels des réassureurs S/P) a plus que doublé entre 1990 et 2017 :

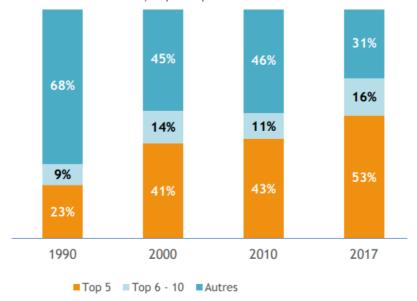


Figure 61 : Réassurance et enquête de l'APREF International-France, APREF [2018_2]

Cette consolidation des réassureurs a permis le renforcement des fonds propres, la diversification géographique des risques, la réduction des coûts opérationnels, ou encore la réalisation d'économies d'échelles.

Pour la cédante, cette concentration et consolidation du marché s'est traduite par une réduction des 'faiseurs de prix' (réassureur capable de coter les couvertures de réassurance). Les petits réassureurs n'ont plus les moyens de coter avec précision une structure car celleci nécessite des équipes techniques et des outils de plus en plus coûteux. Ils sont contraints de suivre le prix proposé par l'apériteur (réassureur prenant la plus grosse part du traité de réassurance, et qui dispose d'un droit de regard sur les conditions du traité,) générant moins de cotation pour la cédante.

Comme le marché de la réassurance est mondialisé et concentré, cela crée une cyclicité des prix en fonction des événements de marché. Les primes de réassurance évoluent souvent en fonction de la survenance d'événements de grande ampleur (exemple crue de la Seine à Paris, Cyclone US...).

La concentration du marché s'est traduite par une augmentation du risque 'systémique' pour le marché de la réassurance. L'exposition croisée qui découle de la concentration peut avoir de lourdes conséquences sur le marché avec une réduction des capacités, en cas de réalisation d'un événement majeur.

C'est une caractéristique propre au marché de la réassurance dont les prix peuvent fluctuer en fonction des cycles indépendamment de l'appréciation des risques.

5 Définition d'un événement en réassurance

Un événement doit faire l'objet d'une cause commune (tempête, grêle, (Neige & autres événements historiquement non impactés)), doit impacter plusieurs polices en un temps limité et sur un territoire donné.

La définition d'un événement est celle spécifiée dans le traité de réassurance, les spécifications de chaque événement font l'objet de clause dans les traités pour chaque typologie (exemple pour la tempête) :

- Clause horaire, un événement correspond à un laps de temps précis (XX heures spécifiées dans le traité TGN pour la tempête);
- Territorialité (France,);
- Sinistres liés à un contrat souscrit par PACIFICA ;
- Type de polices couvertes (DAB, DA, professionnels,) :
- Respecter une certaine matérialité (un avis de sinistre doit être émis afin d'alerter le réassureur doit être émis si un événement dépasse un certain seuil de la priorité)
- D'autres clauses permettent de définir un événement éligible à la réassurance......

Chaque modification de clause a un impact le prix de la couverture (modifie la nature du risque) et fait l'objet de négociation lors de la signature du traité de réassurance.

Malgré les précautions des assureurs et des réassureurs, il n'est pas toujours possible d'identifier avec précision un événement d'un point de vue technique : Le passage de la tempête Lothar le 26 décembre 1999 puis de Martin le 27 décembre 1999 sur la France (tracé des 2 tempêtes différent) traduit cette complexité, une polémique est née peu de temps après 1999 entre certains assureurs et certains réassureurs autour de la définition de Lothar Martin comme un seul événement ou de 2 événements.

Cette contrainte n'est pas spécifique à la France, d'autres pays ont connu des tempêtes 'groupées'. Les sinistres occasionnés par les tempêtes Vivian et Wiebke en 1990 n'ont pas pu être séparés en Allemagne (trajectoires parallèles étendant la zone de dévastation). En cas de divergence sur la définition, certains traités intègrent le recours à une expertise scientifique externe (auprès d'une institution neutre et mutuellement reconnue).

6 Formes de réassurance

On distingue plusieurs formes de réassurance : la réassurance obligatoire, facultative et facultative-obligatoire.

La réassurance obligatoire oblige le réassureur à accepter l'ensemble des risques de la cédante, définis dans le traité de réassurance.

Ce type de réassurance apporte une certaine fluidité dans la gestion des sinistres à la cédante qui cède ses risques. Ce type de réassurance est utilisé dans les risques de type événement climatique, de pointe type RC.

La réassurance facultative est une réassurance 'police par police'.

La cédante est libre dans ce cadre de présenter le risque au réassureur. Le réassureur est luimême libre d'accepter totalement, partiellement ou de refuser le risque présenté.

Elle se rapproche d'une souscription en assurance et nécessite une expertise plus importante (risque par risque).

Cette forme de réassurance est utilisée dans l'assurance des risques lourds, clairement identifiés (industriel, œuvre d'art, ...), lorsque la mutualisation s'avère difficile voire impossible.

Des formes 'fac ob' peuvent exister en complément d'un traité obligatoire. Dans ce cas, l'assureur peut présenter des risques 'normés' (définis dans un cadre précis) et le réassureur a obligation d'acceptation.

7 Regional Property Catastrophe ROL Index

Le global property catastrophe ROL index est un indice ajusté permettant d'évaluer l'évolution des coûts de la réassurance catastrophe dommage en fonction du niveau de protection (base 100 en 1990) au niveau monde. Cet indice est calculé annuellement au 1er janvier.

L'ajustement permet de lisser les hausses de prime liées à l'inflation. Le ROL (Rate on line) est un indicateur du prix de la tranche : $ROL = \frac{Prime \ commerciale}{Montant \ de \ la \ garantie}$.

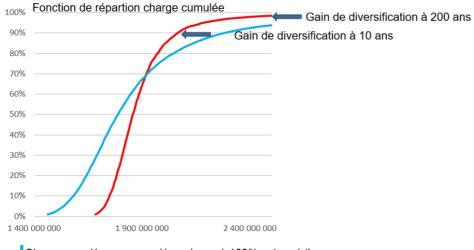
Guy Carpenter propose un indice global mais aussi un indice par zone géographique (US, Asie Pacifique, Europe, Royaume Uni).



Figure 62: Global property Catastrophe ROL index: 1990-2019, Guy Carpenter [2019]

8 Gains de diversification

La diversification correspond à l'écart entre la modélisation des risques cumulés et le cumul de la modélisation des risques, il est positif lorsque pour une mesure de risque quelconque (par exemple pour la VaR et le quantile q), on obtient : VaR(Xi + Yi; q%) < VaR(Xi; q%) + VaR(Yi; q%). Si les risques X et Y sont parfaitement dépendants, la diversification est nulle.



Charge cumulée avec une dépendance à 100% entre périls

Charge cumulée avec la dépendance (telle que nous la simulons)

Figure 63: Effets de diversification

Les effets de diversification entre les risques créent des distorsions dans les distributions : L'indépendance entre les périls crée des gains de diversification important au-delà du quantile à 70%, ces gains ont tendance à augmenter avec le quantile.

9 Réassurance alternative non vie

Sidecar

Les sidecars sont des structures financières (SPRV) créées afin d'apporter temporairement du capital supplémentaire via un contrat en quote-part.

Un sidecar est un véhicule de réassurance à usage spécial (SPRV) généralement formé par un réassureur (ou un assureur) pour fournir une capacité supplémentaire pour des risques spécifiques dans une zone géographique définie.

Le schéma d'un sidecar est identique à celui de la réassurance collatéralisée, la principale différence repose sur le traité de réassurance liant le SPRV et la cédante.

Dans le cadre du sidecar, le traité de réassurance est celui d'un traité en quote-part avec une capacité limitée au lieu d'un XS dans le cas d'une réassurance collatéralisée.

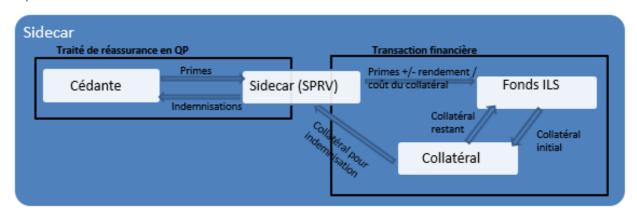


Figure 64 : Sidecar

Ce type de structure est souvent développé lorsque les capacités disponibles sont faibles, le rendement de ce type d'investissement est en général élevé (généralement ce sont des contrats d'une durée de 1 à 3 ans).

Cette option présente quelques avantages :

- Ceux de la réassurance collatéralisée en général.
- Les sidecars sont des quotes parts. L'effet de levier de ce type de structure permet au sponsor d'augmenter leurs capacités de souscription, d'échapper aux contraintes sur le capital et ainsi d'améliorer leur ratio de fonds propres (SCR sur fonds propres par exemple).
- L'effet de levier de ce type de structure est très élévé, le quote part permet au sponsor d'augmenter leurs capacités de souscription, d'échapper aux contraintes sur le capital (amélioration du ratio de fonds propres).

Cette option présente quelques inconvénients :

le quote part est un quote part cappé, pas illimité. L'effet de levier d'une telle option est limitée.

- Ces options sont en général coûteuses.
- Les sidecars sont plutôt mis en place par de réassureurs pour gérer leur rétrocession.

Industry Loss Warranties

Les Industry Loss Warranties sont des protections dont le déclenchement s'effectue en fonction des pertes assurées pour l'ensemble d'un secteur, et non celles d'une seule entreprise.

L'estimation des pertes attendues est définie à partir d'un indice de perte marché. Dans ce schéma, la cédante est indemnisée si les pertes pour l'ensemble du marché dépassent un certain niveau. Le niveau d'indemnisation de la cédante en cas d'événement majeur est défini en amont de l'opération.

Les pertes marché sont calculées par des experts indépendant, nommées avant l'opération. Ces experts donnent des évaluations rapides des périls sous-jacents (cyclone, tempête). Il est courant d'utiliser les estimations PERILS pour les catastrophes 'naturelles' européennes, celle de PCS pour les événements aux USA, celle de Swiss RE pour les autres événements.

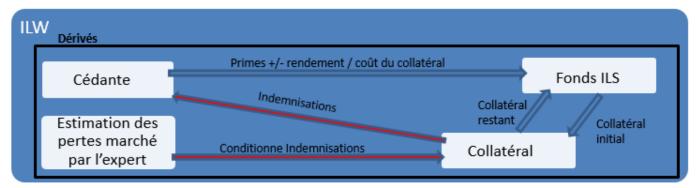


Figure 65: ILW

Le passage de pertes marché aux pertes pour la compagnie d'assurance ayant souscrit peut par exemple se faire à partir des taux de destruction observés. Les taux de destruction par CRESTA observés pour le marché lors de l'événement sont ensuite appliqués pour les Sommes Assurées de la cédante.

Le calcul des pertes marché est spécifique à chaque ILW.

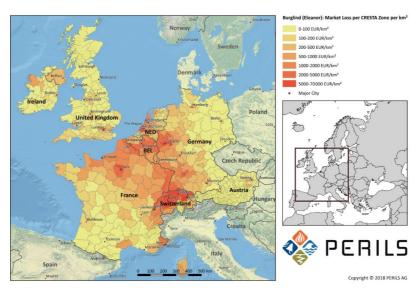


Figure 66 : Estimations des pertes marché par zone CRESTA de la Tempête ELEANOR (2, 3 janvier 2018) par PERILS6.

Ce type de protection est souvent utilisé en complément des autres traités de réassurance. Ces solutions sont très flexibles et elles s'adaptent très bien à la problématique de fréquence des événements extrêmes. Elle est par exemple très utilisée aux USA lors de la saison des cyclones.

Il existe 3 types de contrat ILW (AON [2012]):

- 'Live Cat contract' est un contrat échangé juste avant un événement (par exemple, peu avant qu'un ouragan atteigne les côtes).
- 'Dead cat contract' est un contrat échangé après qu'un événement ait eu lieu mais avant que le marché n'ait pu évaluer le montant. Le contrat porte sur l'évaluation de l'événement (cela équivaut à une sorte de pari sur le montant).
- 'Back up covers' est un contrat échangé après qu'un évènement ait eu lieu et couvrant les conséquences de l'événement principal (inondation post ouragan et pas l'ouragan par exemple)

Ces couvertures ont été développé à partir des années 80s et elles sont particulièrement prisées des Hedge funds qui y trouvent de même que la cédante des avantages multiples :

- Pour l'investisseur, le risque d'aléa moral est réduit. Le suivi et l'estimation des pertes sont transparents.
- L'investisseur voit dans cet achat, un actif financier décorrélé du marché, simple à appréhender. L'estimation des pertes est indépendante du marché financier.
- Pour la cédante, cette couverture peut être moins cher qu'une couverture de réassurance. Le montage est peu coûteux et la rémunération demandée par les fonds est souvent moins élevés que celle demandée par les réassureurs.

⁶ Estimation d'ELEANOR par PERILS, https://www.perils.org/files/News/2018/Loss-Annoucements/Burglind-Eleanor/Map-of-Burglind-Eleanor-Loss-Footprint.jpg

- Cette protection répond bien à un besoin rapide et urgent de capacité pour la cédante.

Cette couverture a cependant quelques inconvénients :

- Le risque de base peut être important pour la cédante. Surtout si les pertes de la cédante sont atypiques par rapport à celle du marché. En effet, de nombreux ILW intègre un 2ème mécanisme d'indemnisation concrètement la cédante sera indemnisée si les pertes marchées dépassent un certain seuil et que les pertes de la cédante dépassent un autre seuil.
- La reconnaissance de ce montage en 'couverture de réassurance' n'est pas aisée face au régulateur. Cette couverture présente d'avantages les traits d'une couverture financière (dérivés) que celle d'une couverture de réassurance.
- Ce type de transaction est généralement un deal privé entre un assureur (ou réassureur) et un hedge funds. Il n'y a pas de marché secondaire pour ce type de contrat.

Cat Swap

Contrairement aux instruments dérivés étudiés jusqu'ici. Les cat swaps sont généralement des accords entre 2 entités qui peuvent s'échanger sur une période donnée, un portefeuille contre un portefeuille dit 'portfolio cat swap' ou un portefeuille contre de la capacité dit 'financial cat swap'.

Portfolio Cat Swap

Le portfolio cat swap qui est parfois appelé le pur swap catastrophe, est un échange de portefeuille d'exposition qui peut concerner un assureur et un réassureur ou un réassureur et un réassureur.

Avec ce type de swap, deux parties concluent un accord pour échanger entre elles un portefeuille similaire d'expositions catastrophe (corrélées ou non corrélées) pendant une période de temps donnée.

Cette couverture permet à une entreprise dont l'activité est concentrée localement à un type de catastrophe naturelle de remplacer une partie de son risque principal par un autre type de catastrophe naturelle sur un autre territoire.

Par exemple, l'assureur A qui est exposé à un cyclone en Guadeloupe échange dans un portfolio cat swap une partie de son portefeuille contre celui du réassureur B qui est exposé à une tempête en France.

En cas de cyclone sur le portefeuille de l'assureur A, le réassureur B devra effectuer un paiement à l'assureur A.

De même, en cas de tempête sur le portefeuille du réassureur B, l'assureur A devra effectuer un paiement au réassureur B.

Si aucune des pertes ne survient pendant la période contractuelle spécifiée (généralement 1 an), la transaction prend fin.

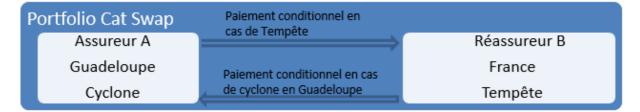


Figure 67: Portfolio cat swap

Contrairement à un contrat de réassurance classique, les parties n'échangent pas de primes mais uniquement les expositions (et éventuellement les sinistres).

En général, les pertes sont calculées à partir d'indicateur marché (cf ILW) afin d'éviter l'aléa moral dans le calcul des pertes chez l'un ou l'autre des autres des acteurs.

Ces couvertures présentent quelques avantages pour l'assureur et/ou le réassureur :

- Elle permet une diversification du portefeuille plus grande et elle peut permettre de réduire les exigences de fonds propres réglementaires dans le cadre de solvabilité 2 par exemple, à condition de parvenir à faire reconnaitre cette opération en opération de réassurance.

Solvabilité 2 (S2) est la directive européenne (2009/138/CE) qui définit le niveau de capital nécessaire (SCR) pour qu'une compagnie d'assurance puisse résister à un choc bicentenal. Le SCR se calcule comme une somme de capitaux élémentaires (BSCR), d'un capital pour risque opérationnel (SCR Opérationnel) et d'un ajustement pour impôt (Ajustement). Le BSCR correspond à l'agrégation de SCR calculé par module de risque (santé, marché, défaut, vie, non vie, concentration) via une matrice de risque.

Chaque module de risque intègre le calcul de sous module.

Le sous module Nat Cat (article 120 du règlement délégué) qui correspond à un choc bicentenale d'un événement climatique est spécifique à chaque événement (tempête, inondation, ...) et à chaque territoire.

Par exemple, le choc pour un événement à 200 ans Tempête France métropole correspondait à 0,12% des sommes assurées métropole (Version 2013 du helper tab) contre 2,74% des sommes assurées Guadeloupe pour un choc tempête (cyclone) Guadeloupe.

1 in 200 LDR% (QCTRY)

Country	Windstorm	Earthquake	Flood	Hail	Subsidence
FR	0,120%	0,060%	0,100%	0,010%	0,050%
Guadeloupe	2,740%	4,090%			

Figure 68 : Extrait du Helper tab fourni par l'ElOPA [2013]

- La mise en place d'une telle couverture est moins coûteuse que les autres opérations de transfert. Ces contrats sont généralement mis en place de telle sorte que les portefeuille d'échange s'équilibrent exactement et qu'il n'y ait pas paiements initiaux entre A et B.

Cette couverture a cependant quelques inconvénients :

- Elle nécessite un alignement des déclencheurs ainsi qu'une modélisation précise des risques afin de faire correspondre les pertes attendues entre les 2 parties
- Le risque de base est important sur ce genre de transaction.
- Dans ces couvertures, le risque de contrepartie est très important, généralement, il n'y pas de collatéral associé à ce type de couverture.
- Les opérations de portfolio cat swap sont rarement considérés comme des couvertures de réassurance par les régulateurs.

Financial Cat Swap

Le financial cat swap est un contrat qui lie un assureur (ou réassureur) à un investisseur. Cette structure est proche d'un contrat de réassurance traditionnel puisque la cédante obtient en fait la capacité de l'investisseur à un coût, à savoir la prime de réassurance.

L'élément de différenciation entre le swap financier et la réassurance traditionnelle est la base des pertes. Dans le cadre de ce type de swap, les pertes prises en considération sont en général celles d'un indice de perte de marché tel que PERILS, tandis qu'avec la réassurance traditionnelle les pertes considérées sont celles de la cédante.

Les pertes marché conditionne le niveau de l'indemnisation à la cédante.

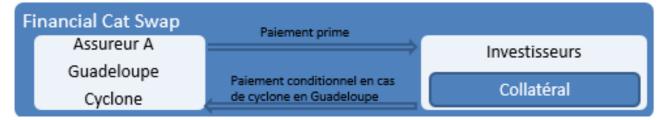


Figure 69: Financial cat swap

Ces couvertures présentent quelques avantages pour l'assureur et/ou le réassureur :

- Le risque de contrepartie est faible. En général, les financial cat swaps sont collatéralisés.
- La mise en place d'une telle couverture n'est pas coûteuse.

Cette couverture a cependant quelques inconvénients :

- Le risque de base est très important car le trigger est en général conditionné par les pertes marchées.
- Les opérations de financial cat swap sont rarement considérés comme des couvertures de réassurance par les régulateurs.

10 Autres acteurs d'une opération de titrisation

En fonction de la complexité d'une opération de titrisation, des acteurs spécifiques peuvent intervenir :

- La société de gestion se situe entre la cédante et le FCC. La société de gestion est la société commerciale qui gère le FCC, représentant les intérêts des détenteurs de parts. Elle gère et contrôle les créances, elle surveille que les procédures soient suivies pour l'obtention de la notation et elle fournit les informations requises par l'agence de notation.
- Le rehausseur de crédits se situe entre l'arrangeur et le FCC.
 Le rehausseur de crédits est une société purement financière qui a pour mission d'accumuler des créances de qualité très diverse y compris venant d'autres opérations, et de les réunir dans un même portefeuille.
 Le rehausseur apporte aux créanciers une assurance d'être remboursés, sur la foi de sa note financière généralement très bonne.
 Les portefeuilles d'actifs créés par le rehausseur de crédit le sont de manière à avoir une note supérieure à celle du titre émis sur la base de la note du rehausseur.
 Cela permet de placer le titre plus facilement auprès des investisseurs.
- Le dépositaire est une institution de crédit contrôlant les opérations de la société de gestion et validant les ordres de paiement.
- L'agent payeur dispose d'un rôle d'exécution, il est chargé de s'occuper des paiements à effectuer aux investisseurs après avoir reçu l'ordre du dépositaire.

11 Exemple de règle pour la commutation du collatéral

Dans le cadre de la mise en place d'une structure de réassurance frontée, un réassureur nous a proposé la mise en place d'un collatéral spécifique.

La sinistralité éligible au traité est calculée à intervalles réguliers (chaque trimestre par exemple).

A l'issue de chaque trimestre, si la sinistralité attendue est proche du point d'attachement (seuil de commutation du traité définit trimestriellement) du traité alors une période d'extension post couverture (la période d'extension est spécifique à chaque traité) peut être définit afin de permettre à la cédante de calculer les pertes, provisions (IBNR).

A l'issue d'une période d'observation de 2 années (par exemple) après la période de couverture, la cédante estime le montant des provisions pour les sinistres ouverts, le montant des sinistres payés ainsi qu'une provision pour les sinistres non déclarés (avec la validation du réassureur).

Une commission est ajoutée à ce montant, cela sert de base à la commutation.

Le montant est versé par le réassureur afin de solder l'opération.

Le réassureur et le fond sont libérés de leurs engagements et des éventuelles dérives de sinistralité.

12 Autres formes de titrisation en assurance

Les cat bonds couvrent en général, les risques assurantiels induits par une catastrophe naturelle (tremblement de terre, tempête...). En parallèle des cat bonds, d'autres types de structuration dit 'bond' ou 'titrisation' ont été développés pour l'assurance et diffèrent du cat bonds par la nature du sous-jacent.

La titrisation a permis d'apporter des capacités importantes en assurance non vie via la couverture du risque de déviation du S/P d'un portefeuille, du risque terrorisme et du risque cat par exemple.

- Les opérations de titrisation de la déviation du S/P (opération SPARC France sur le portefeuille automobile, AXA 2006) vise à couvrir une perte définie sur une branche de la cédante en fonction du S/P. Le mémoire Enjeux et perspectives de la titrisation du risque de masse en
 - assurance dommage de BARROS Myriam et DELIGNON Bertrand [2009] donne plus de détails sur la mise en place d'une telle couverture.
- Les opérations de titrisation du risque terrorisme sont liées à la disparition de la capacité de la réassurance traditionnelle sur ce péril.
 - Suite aux attentats du 11 septembre 2001, les réassureurs mondiaux ont souhaité se désengager du risque terrorisme. Les principales raisons de ce retrait étaient motivées par un phénomène d'hyper corrélation du risque et par le caractère non assurable de ce risque, en effet les mesures de protection contre le risque terroriste dépendent de l'état et pas de l'assureur.
 - Face à la pénurie de capacité, les marchés financiers sont intervenus en complément des réassureurs et des états comme porteurs de risque 'terrorisme'. Pour plus de précision, nous invitons le lecteur à lire l'article 'Terrorisme à grande échelle partage de risques et politiques publiques' de MICHEL-KERJAN [2003].

L'assurance vie a aussi profité de cet élan avec des titrisations permettant de couvrir le risque de réserve, le risque de mortalité et le risque de longévité pour lesquels les couvertures de réassurance sont chères et/ou peu couvrantes.

- Les opérations de titrisation du risque de réserve sont liées à un changement de réglementation aux Etats Unis. Dans les années 2000, le régulateur américain (article US NAIC Model regulation 830⁷) a obligé les assureurs vie à détenir des réserves additionnelles jusqu'à extinction des contrats (jusqu'à 20 à 30 ans après la souscription).
 - Les réassureurs et les lettres de crédits qui étaient les solutions traditionnelles n'offraient que des solutions d'un an avec la nécessité de renégocier annuellement. Les assureurs vie se sont alors tournés vers les marchés financiers afin de couvrir la dérive des réserves additionnelles (duration, montant).
- La couverture des risques de longévité (cf. mémoire 'Garantie de mortalité et couverture du risque de longévité' de MARIN [2012]) vise à couvrir l'écart entre l'engagement prévu à la souscription et l'engagement réel de l'assureur pendant la durée du contrat. Dans le cas de certains produits d'assurance vie (rente par exemple), cet écart dit risque de longévité peut entrainer des pertes importantes pour la cédante.
 - La déviation de ce risque peut être couverte par une opération de titrisation, on cherche à couvrir alors qu'un indice de mortalité soit inférieur à un certain seuil (indice et seuil définis à la création de l'opération).

⁷ https://www.naic.org/cipr_newsletter_archive/vol2_ag38.htm

- Les titrisations du risque de mortalité visent à couvrir la déviation de la mortalité suite à des chocs de toute nature et notamment du type pandémie, terrorisme. Dans le cas de certains produits d'assurance vie (contrats d'assurance décès par exemple), une surmortalité du portefeuille peut entraîner des pertes importantes pour les compagnies d'assurance.

Le marché de la réassurance vie propose peu de traités de réassurance couvrant un risque de mortalité extrême comme la pandémie ou le terrorisme par exemple.

Titrisation Vie (Risque sous-jacent)

Mortality Bonds

Le risque sous-jacent est constitué par la déviation de la mortalité suite à des chocs de toute nature et notamment du type pandémie, terrorisme, Le risque de mortalité se matérialise lorsque la mortalité excède un certain seuil (surmortalité).

L'indice de surmortalité est calculé à partir de différents indices :

- Un indice de mortalité est défini (indice spécifique basé sur des données publiques les plus récents, l'indice est généralement spécifique à chaque pays);
- Un indice de correction de la mortalité est défini afin d'intégrer l'amélioration générale de la mortalité (politiques sanitaires, vaccins, recherches, éducation, amélioration des conditions de vie...).

Cet indice de correction permet de garantir l'homogénéité du seuil de déclenchement de la protection dans le temps (afin de maintenir l'efficacité de la protection dans le temps).

L'indicateur de mortalité et l'indicateur de correction de la mortalité permettent de créer un indice de surmortalité. Les déviations de l'indice de surmortalité sont couvertes en XS d'un seuil de déclenchement.

Les événements catastrophiques sont un facteur important de surmortalité du portefeuille (certains contrats n'incluant pas de restriction sur la nature de l'événement catastrophique (pandémie, Inondation, Tremblement de terre,)). Les mortality Bond permettent de couvrir ce type de déviation.

Longevity Bond

Le risque sous-jacent est constitué par la déviation de la longévité (allongement de la durée de vie des assurés dans le cas d'un engagement en cas de vie (contrats d'épargne par exemple)).

Tableau 32: Titrisation vie

13 Différences entre réassurance et titrisation, Modèle de Cummins

Avec la réassurance, les risques sont agrégés ensemble, les réassureurs proposent leurs capitaux propres pour porter le risque.

Dans ce modèle, Cummins (2004) évoque un entrepôt de risque pour qualifier la gestion traditionnelle.

Ce modèle économique de mutualisation des risques s'est progressivement transformé en fragmentation des risques avec un transfert vers le marché des capitaux via les opérations de titrisation.

Cummins (2004) évoque un rôle d'intermédiation du risque, l'assureur (celui qui émet) n'a pas pour rôle de garder les risques mais il doit les connaître et les transformer.

Ci-joint une synthèse des différences entre les deux modèles évoqués par Cummins (2004) :

	Réassurance traditionnelle	Titrisation
Pour l'acteur	Le réassureur a une dette	L'investisseur a un actif
Connaissance du risque	Le réassureur a une connaissance parfaite du risque :	Les investisseurs ont une connaissance partielle du risque :
	Les réassureurs sont des experts des risques qui ont par moment une meilleure connaissance du risque que l'assureur lui-même (risques catastrophes, pandémie, Cyber,). Les réassureurs ont une connaissance poussée des risques, cette	L'agence de notation évalue le risque pour l'investisseur (un choix de modèle est effectué à ce titre). L'agence de notation permet une comparabilité entre les titres, elle permet de transformer le risque assurantiel en titre.
	connaissance permet aux réassureurs de réduire au maximum l'aléa moral.	
Relation cédante/ acteur	La relation entre assureur et réassureur est personnelle, du fait du rôle d'accompagnement du réassureur et de la difficulté à céder un passif.	La relation entre assureur et investisseur est anonyme. L'investisseur peut vendre son actif.
	L'importance est la confiance .	L'importance est la réputation .

Tableau 33 : Différences entre réassurance et titrisation

14 Réassurance collatéralisée

Face à la complexité des opérations de titrisation, d'autres opérations de transfert ont vu le jour, à l'image de la réassurance collatéralisée.

La titrisation nécessite le recours à de nombreux intermédiaires (agences de notation, avocats...) ainsi qu'un cadre juridique très stricte ce qui rend coûteux ce type d'opération. Pour la cédante, il faut une certaine masse critique pour rentabiliser ces coûts d'entrée. Afin de réduire la complexité opérationnelle, juridique et les coûts de mise en place d'une telle

Afin de reduire la complexite operationnelle, juridique et les couts de mise en place d'une tell structure, des opérations de gré à gré entre investisseur et assureur ont vu le jour.

La réassurance collatéralisée s'est développée afin de faciliter le transfert de risque difficilement titrisable vers les marches de capitaux. La réassurance collatéralisée représentait d'après Aon Benfield au 3ème trimestre 2019, plus de 50% de la capacité alternative d'après Aon Benfield (2020).

Ces opérations dites de réassurance collatéralisée sont identiques à des opérations de réassurance traditionnelle avec comme différence la présence d'une capacité entièrement collatéralisée ainsi que l'absence de réassureur dans de nombreux cas.

Le réassureur est remplacé par un contrat dit 'trust agreement' qui définit le lien entre la cédante et le fonds ILS. Ce contrat regroupe le traité de réassurance (territorialité, engagement de l'investisseur, durée du traité, ...) ainsi qu'une note sur le traitement du collatéral.

Les fonds ILS alimentent un collatéral bloqué sur la durée de l'opération qui sera utilisé en cas de sinistre.

- En cas de sinistre sur la période de couverture, la cédante peut demander le paiement à la banque qui conserve le collatéral. Le risque de contrepartie repose sur un défaut de la banque émettrice et non pas sur celui de l'investisseur (en général un fonds ILS). La banque porte le risque de remboursement.
- En l'absence d'événement sur la période de couverture, le collatéral est rendu aux fonds.

Le collatéral est généralement une lettre de banque ou une obligation déposée auprès d'une banque.

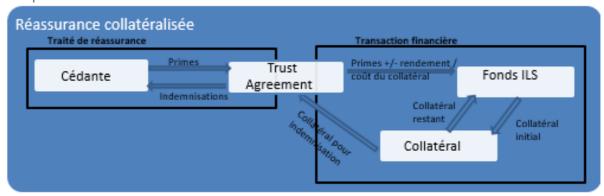


Figure 70 : Réassurance collatéralisée

Définition d'un SPRV et distinction avec le SPV

La directive 2009/138/CE⁸ du parlement européen permet à chaque pays membre d'établir ses propres conditions pour la création d'un SPV et de définir les conditions dans lesquelles un tel véhicule peut exercer ses activités.

La plupart des pays membres distinguent les SPV en fonction de leurs utilisations. Pour les risques spécifiques de réassurance, un format juridique dit SPRV ou 'Special Purpose Reinsurance Vehicle' a été créé. Le SPRV est défini comme une entité juridique émise pour un an, spécifique à des risques de réassurance :

- Le SPRV permet le transfert d'une opération de réassurance d'une cédante (ou de réassureurs) vers des investisseurs dit fonds ILS via un traité de réassurance. Les fonds ILS sont des fonds d'investissements spécialisés dans l'achat d'actifs financiers dont la valeur est indexée sur des pertes assurables.
- Le SPRV doit financer intégralement l'exposition du risque associé au traité via un accord de financement préalable (ie le collatéral).
- Le SPRV ne doit pas être un assureur ou un réassureur. Le SPRV est en général créé par des sociétés de service spécialisées dans ce type d'opération (Horseshoe par exemple).

Il existe de nombreuses distinctions entre les SPRV 'Special Purpose Reinsurance Vehicle' utilisés dans le cadre de réassurance collatéralisée et les SPV 'Special Purpose Vehicle' utilisés dans le cadre de titrisation :

- Les SPRV sont exclusivement dédiés à des opérations de réassurance alors que les SPV peuvent être crées pour des opérations de titrisation bancaire, industriel, ...
- Dans le cadre d'un SPRV, la cédante signe un contrat de gré à gré avec le fonds ILS alors qu'avec un SPV, il y a émission de titres.
 Il existe un marché primaire (émission de titre) et secondaire (échange de titre) pour les opérations avec un SPV et seulement secondaire pour les opérations avec un SPRV.
 - Les SPV permettent d'obtenir des capacités beaucoup plus importantes car elles s'adressent à un nombre plus importants d'investisseurs via l'émission d'un titre.
- Les contraintes de capitalisation sont différentes.

 Les risques transférés avec un SPRV s'apparentent davantage à un risque indemnitaire, reflétant au plus près l'exposition du sponsor. Le montage juridique avec un SPRV s'apparente à un traité de réassurance.

 Les risques transférés avec un SPV s'apparentent davantage à un risque dérivé.

L'Irlande distingue ainsi les SPRV 'Special Purpose Reinsurance Vehicle', des SPV (Central Bank Ireland⁹, ¹⁰), les SPRV sont régulés par le FSA (autorité locale de contrôle de l'industrie financière) et soumis à une contrainte de capitalisation (en BOURGEOIS Blaise & POUGNET Gwnendal [2008]) plus importante que les SPV.

- Le risque de réputation n'est pas le même.

 $^{^{8}\} https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000021605515$

⁹https://www.centralbank.ie/docs/default-source/regulation/industry-market-sectors/insurance-reinsurance/non-solvency-ii-(life)/requirements-and-guidance/ongoing-requirements-guidance-specific-to-reinsurance-undertakings/gns-4-4-10-2-2--sprv--dec-2012.pdf?sfvrsn=4

¹⁰ https://www.centralbank.ie/docs/default-source/statistics/statistical-reporting-requirements/special-purpose-vehicles/spe-faq.pdf?sfvrsn=18

Les SPV et les SPRV sont généralement localisés aux Bermudes ou à Guernesey (véhicules pré établis) où le régime fiscal est favorable à ce type d'opération. Les fonds travaillent souvent avec des SPRV (véhicules) préétablis ce qui permet d'éviter la longue étape de création d'un SPRV.

Ces pays présentent un caractère de sensibilité particulier en raison de leur régime fiscal

La cédante apparait comme sponsor dans le cas d'un SPV alors qu'elle n'apparait pas comme sponsor de l'opération dans le cadre d'un SPRV (le sponsor est le fonds ILS dans ce cas).

Fonctionnement de la réassurance collatéralisée

Pour chaque opération ou chaque cellule, le SPRV reçoit la prime de réassurance versée par la cédante et les prix d'achat versés par les fonds ILS pour les titres, ces montants sont investis avec l'accord de la cédante et des fonds ILS dans un collatéral (obligation ou lettre de banques bien notés).

Pour chaque opération de réassurance, le SPRV crée un compte de collatéral dédié sur la durée de l'opération avec l'accord de la cédante et du fonds ILS. Les collatéraux de chaque cellule sont indépendants.

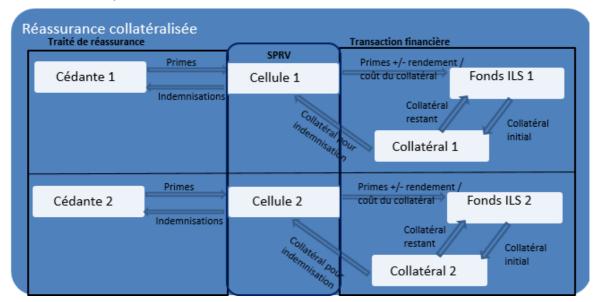


Figure 71 : Fonctionnement de la Réassurance collatéralisée

Avantages et inconvénients de ce type d'opération

Les avantages sont nombreux pour ce type d'opération

- Pour la cédante, les coûts de structuration du SPRV sont intégrés à la prime demandée par le fonds ILS. Le prix est établi par le fonds ILS comme le prix d'une couverture traditionnelle.
 - Les fonds ILS ont depuis quelques années développées des compétences de tarification.
- Le collatéral sécurise à 100% la capacité afin de protéger la cédante en cas de faillite des fonds.
- Le SPRV gère de manière séparée chaque traité de réassurance. Les pertes associées à une cellule (une opération) n'ont pas d'impact sur un autre traité.

Les cellules sont étanches les unes par rapport aux autres avec un collatéral spécifique à chaque opération.

En réassurance traditionnelle, une perte majeure à l'image de la survenance d'un événement extrême ou d'un perte financière importante peut exposer le réassureur et par conséquence les opérations en cours du réassureur.

- En cas de survenance d'événements majeurs, les banques détenant le collatéral ont une corrélation de défaut à priori inférieurs aux réassureurs (les réassureurs sont directement impactés par un événement majeur) cependant il existe un risque de contrepartie sur le collatéral (ie. sur la garantie bancaire fournie).

Cette option présente quelques inconvénients :

 Les SPRV sont généralement localisés aux Bermudes ou à Guernesey où le régime fiscal est favorable à ce type d'opération. Les fonds travaillent souvent avec des SPRV (véhicules) préétablis ce qui permet d'éviter la longue étape de création d'un SPRV.

Le risque de réputation est à prendre en compte dans le cas d'un tel montage.

Il est difficile d'avoir un véhicule de réassurance situé en Europe et non répertoriées comme un pays présentant un caractère de sensibilité particulier en raison de leur régime fiscal même si le cadre juridique permet la création d'un SPRV français.

La localisation du SPRV est importante pour la cédante car en cas de faillite du SPRV, la législation de la domiciliation SPRV va s'appliquer. La législation sur la faillite (droit à la faillite) locale va conditionner pour la cédante, la capacité à récupérer tout ou partie du collatéral.

En France, le cadre juridique permet de créer un SPRV français via les FCT (fonds commun de titrisation, cf. 2-5-5) cependant cette structure est peu utilisée par les fonds ILS. Des frais juridiques sont à prévoir pour créer un SPRV français.

- Le risque de défaillance de la banque détenant la contrepartie n'est pas nul. La crise des subprimes de 2008 a rappelé que le risque de défaillance n'était pas nul y compris pour les banques bien notées. La faillite de Lehman Brother en est un exemple. Lehman Brothers était un acteur de référence des CDS, contrat permettant à l'acheteur de se couvrir contre un risque de contrepartie de l'entité de référence (cf. 2-3 Intérêt de la titrisation pour la cédante : une alternative à la réassurance traditionnelle).
- Il existe une asymétrie de l'information entre la cédante et l'investisseur. Ces contrats sont peu liquides pour l'investisseur.
- Le risque de base (écart entre l'indemnisation offerte par la couverture et la sinistralité réellement subie par la cédante) est important sur ce type de couverture. Afin de relâcher le collatéral après quelques années, les traités de réassurance collatéralisée intègrent des clauses de commutation. Ces clauses libèrent les investisseurs de leurs engagements futurs, il existe cependant un risque de dérive de la sinistralité qui sera assumé par la cédante.
 - A l'image des cat bonds, ce type de couverture n'est pas adapté pour les risques à développement long.
- Pour être reconnu comme une opération de réassurance par le régulateur et pouvoir être utilisée comme telle, la mise en place d'une opération comme celle-ci nécessite une validation par le superviseur (cf. directive 2009/138/CE).

- Il est complexe d'avoir des reconstitutions avec la réassurance collatéralisée et avec les cat bonds car les régulateurs sont très attachés à ce que le collatéral soit égal à 100% de la capacité.
 - S'il y a des reconstitutions, les investisseurs devront fournir un collatéral correspondant à la capacité fournie (avec pour les investisseurs, un prix potentiellement très faible au regard des choix d'investissement existant).

Le format collatéralisé et les cats bonds permettent de réduire les coûts de transfert mais aussi de diversifier les sources de capitaux pour la cédante. Cependant, l'usage de ce type de structure reste limité car elles sont jugées comme complexe à mettre en œuvre par rapport à la réassurance traditionnelle.

Des structures alternatives dites de 'réassurance frontée' à mi-chemin entre réassurance traditionnelle et réassurance financière ont vu le jour pour palier à une partie des problèmes identifiés avec ces structures.

15 Réassurance frontée

Opérationnellement, la mise en place d'une opération de réassurance collatéralisée peut être longue, les échanges entre le fonds ILS et la cédante ainsi que les échanges avec le superviseur peuvent être chronophages. Pour faire face à cela, quelques réassureurs ont mis en place des opérations dites de 'réassurance frontée'.

Ces opérations à mi-chemin entre la réassurance collatéralisée et la réassurance traditionnelle, permettent à la cédante de bénéficier d'une capacité collatéralisée ainsi que de l'accompagnement d'un réassureur dit fronteur qui joue le rôle du SPRV.

La cédante cède ses risques à un réassureur dit 'fronteur' via un traité de réassurance traditionnelle, le réassureur fronteur quant à lui cède ses risques (via une rétrocession) à un fonds ILS.

Le fronteur fait le lien entre la cédante et le fonds ILS, il touche une commission de la part du fonds ILS définie en pourcentage de la prime pour assurer ce lien. Cette commission est dite 'coûts de fronting'. La cédante n'a pas de lien direct avec le fonds.

Le réassureur fronteur est en charge de toute la structuration du traité de réassurance.

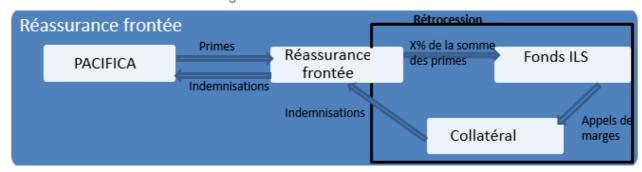


Figure 72 : Réassurance frontée

En cas de sinistre, au lieu d'indemniser à partir de ses fonds propres, le réassureur fronteur va faire appel à des fonds d'investissement qui vont mettre à disposition leurs capacités pour indemniser la cédante, les fonds le feront en contrepartie d'une rémunération.

Les fonds ILS sont des fonds d'investissements. Ils sont généralement rattachés à des gérants d'actifs et ils offrent leurs capacités aux réassureurs en contrepartie d'une prime.

Pour le fonds ILS, l'opération de réassurance prend la forme d'un actif dont les résultats sont conditionnés à la sinistralité de l'opération.

Ce type d'opération présente les avantages de la réassurance financière et celle de la réassurance traditionnelle pour l'assureur :

- Le fronting permet de réduire la lourdeur opérationnelle par rapport à une opération de titrisation. Le réassureur est en charge de la structuration, de l'émission et des échanges avec les fonds.
 - Le réassureur accompagne la cédante du début à la fin de l'opération, permettant à la cédante de profiter de l'expertise ainsi que de l'image du réassureur auprès des investisseurs.
- La structure du bond crée par le réassureur est réutilisable pour d'autres opérations.
- Le gain financier peut être important avec ce type de montage car le rendement attendu par les fonds ILS peut être inférieur à celui attendu par les réassureurs traditionnels notamment lorsque le cycle des prix en réassurance est haut.
- Le risque de contrepartie est quasi nul avec une contrepartie collatéralisée. Les fonds ILS utilisent souvent des lettres de crédit (émises par une banque) comme collatéral.
- Des reconstitutions sont possibles avec ce type de montage via l'utilisation de la capacité du fronteur.

Cette option présente cependant quelques inconvénients :

- La réassureur frontée ne permet pas d'obtenir des capacités importantes en comparaison des capacités offertes par la réassurance traditionnelle ou les ILS (cat bonds ou réassurance collatéralisée).
 - Les capacités offertes par la réassurance frontée sont faibles en raison du faible nombres d'acteurs.
- Le nombre de réassureur 'fronteur' est très limité car les fonds ILS estiment les couts de fronting comme importants et car ils ne veulent pas montrer des transactions à des acteurs qui peuvent être par ailleurs des concurrents (cf. réassurance collatéralisée).
 - Le nombre de fronteur tend cependant à augmenter avec le développement par les fonds ILS de leurs propres réassureurs. Les fonds (LGT, crédit Suisse) cherchent à réduire les coûts de fronting.
- Les réassureurs fronteurs font appels uniquement aux fonds avec lesquels ils ont l'habitude de travailler, ce qui peut réduire l'effet de levier attendu par ce type d'opération.
- Ce type d'opération nécessite un choix de couverture rapide de la cédante, il faut en général plusieurs mois pour avoir le retour des investisseurs.
 - Si une tempête majeure survient avant l'émission, les investisseurs seront réticents à investir dans une opération de fronting, mettant en péril la couverture de réassurance
 - En général, les cédantes négocient avec le réassureur fronteur une 'garantie de capacité' avant la mise en place d'une telle opération. Cette clause permet de garantir une capacité du réassureur fronteur en cas de difficulté de souscription auprès des investisseurs.

- Les traités de réassurance frontée intègrent des clauses de commutation. Ces clauses libèrent les investisseurs de leurs engagements futurs, il existe cependant un risque de dérive de la sinistralité qui sera assumé par la cédante.

Malgré de nombreux attraits, la réassurance frontée reste peu utilisée en France du fait du faible nombre d'acteurs (fonds et réassureurs fronteurs) sur le marché français.

16 Déviation historique de la fréquence à 10 ans

Sur notre historique, nous observons près de 0,3 événements cédés à la réassurance par an. La fréquence de la T0-25% est très élevée avec près de 383 événements en moyenne par an.

Sources de	Fréquence	Déviation	Décomposition déviation par péril				
déviation 10 ans	moyenne	fréquence 10 ans	Tempête	Grêle	Autres TGN		
Couverture actuelle	0,30	1	47%	53%	0%		
T0-25%	383	57	12%	70%	18%		
T0-25% avec un							
seuil de 10K€	189	53	25%	57%	18%		
T25-50%	2	3	34%	66 %	0%		
T50-75%	1	2	71%	29%	0%		
T75-100%	0,4	1	44%	56%	0%		

Tableau 34 : Déviation historique de la fréquence 10 ans

Les événements de la T0-25% sont principalement des petits évènements, 50% de ces événements sont inférieurs à 10K€.

La forte proportion d'événements de faible ampleur (événements inférieurs à 10k€) s'explique principalement par notre méthodologie de constitution des événements.

Dans nos bases sinistres, les événements sont des constructions artificielles à partir de la nature, de la date, et du lieu de survenance du péril.

La définition d'un événement correspond à celle décrite dans les traités de réassurance. Un événement doit ainsi faire l'objet d'une cause commune et impacter plusieurs polices sur un territoire donné en un temps limité (défini en nombre d'heures).

Cette construction nécessite des retraitements en interne, par exemple une mauvaise déclaration de la date de survenance par l'assuré peut empêcher les équipes de gestion sinistre de réaffecter un événement isolé à son fait générateur.

Cette problématique est très présente pour les petits événements pour lesquels les retraitements sont moins fréquents car chronophages.

Pour les tranches T25-50%, T50-75% et T50-100%, le nombre maximum d'événements est relativement faible sur l'historique retenu :

- Pour la T25-50%, le nombre d'événements est au maximum de 5 événements par an.
- Pour la T50-75%, le nombre d'événements est au maximum de 3 événements par an avec une moyenne de 1 événement par an.
- Pour la T75-100%, le nombre d'événements est au maximum de 1 événement par an avec une moyenne de 0,4 événement par an.

Depuis 2017, nous observons une tendance à la hausse du nombre d'événements pour la T75-100% avec au moins 1 événement dans cette tranche par an (Zeus en 2017, Eleanor en 2018 et la Grêle du 4 juillet en 2019). Cette tendance est aussi présente pour la T50-100% avec par exemple 2 événements en 2018.

17 Définition Prime commerciale en réassurance

Pour estimer, la prime commerciale, le réassureur intègre sur la base de la prime pure, un chargement de sécurité permettant de compenser les frais et la volatilité du risque (rémunération du risque) et un chargement commercial incluant la rémunération du capital qu'il doit mobiliser et d'autres éléments pour accepter ce type de risque.

Nous exprimons la prime commerciale comme fonction de l'écart type, d'autres méthodes de chargement existent (basée uniquement sur la prime pure, sur la VaR,) :

$$\pi_{r\acute{e}assurance} = E(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}) + \rho \times \sigma(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}) + \rho' \times \sigma(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}) \; .$$

	Formule	Description
	$E(X_{c \in d \in e})$	La Prime pure intègre le niveau de récupération (charge moyenne de la tranche).
+	$\rho \times \sigma(X_{c \notin d \notin e})$	Le coefficient de chargement de sécurité ρ (permet d'absorber les écarts éventuels entre la sinistralité et la prime pure). Ce coefficient permet aussi de mettre du capital en face du risque (rémunération par l'assureur du capital mobilisé par le réassureur). Il est appliqué sur l'écart-type de la tranche (d'autres mesures de volatilité sont possibles).
=	$E(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}) + \rho \\ \times \sigma(X_{c\acute{e}d\acute{e}e})$	La Prime de risque permet de couvrir la volatilité autour de la prime pure due aux erreurs de paramétrages et au caractère aléatoire des sinistres.
+	$\rho' \times \sigma(X_{c\acute{e}d\acute{e}e})$	Le coefficient de chargement commercial ρ' (frais généraux, bénéfice, taxes, que le réassureur entend distribuer à ses actionnaires). Il est appliqué sur l'écart-type de la tranche (d'autres mesures de volatilité sont possibles).
=	$= E(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}) + \rho$ $\times \sigma(X_{c\acute{e}d\acute{e}e})$ $+ \rho' \times \sigma(X_{c\acute{e}d\acute{e}e})$	La Prime commerciale est la prime payée par l'assureur.

Tableau 35 : Prime commerciale de réassurance, POULIN [2012]

Nous n'avons pas accès au coefficient de chargement utilisé par les réassureurs (la prime pure et l'écart type calculé par les réassureurs étant spécifique à chaque modèle, hypothèses de lois, de projection et aux périmètres retenus). Par souci de simplification, nous utilisons un coefficient de chargement global (intégrant le chargement de sécurité et le chargement commercial).

$$\pi_{réassurance} = E(X_{cédée}) + \rho'' \times \sigma(X_{cédée}).$$

 $\rho'' = \rho' + \rho$: le coefficient de chargement intégrant le chargement commercial et le chargement de sécurité.

18 Quelques indicateurs de l'efficacité de la réassurance

Indicateur de volatilité :

- La période d'attachement mesure la probabilité de toucher la tranche de réassurance, c'est-à-dire que les récupérations soient positives (probabilité que la charge de la tranche soit positive). Plus la priorité est basse, plus cette période est basse, plus la protection couvre bas. Cette période permet aussi de distinguer les tranches 'travaillantes' des tranches dites non 'travaillantes', une tranche travaillante est rarement réassurée (charge dites récurrente pour la cédante), les événements d'une telle tranche sont quasi-certains'.

Période d'attachement : $\frac{1}{P(R\acute{e}cup\acute{e}rations>0)}$ (exprimé en années).

- La période de sortie mesure la probabilité de 'sortir' de la tranche de réassurance, la probabilité qu'un événement dépasse la limite (portée + priorité) du traité.

Période de sortie : $\frac{1}{P(R\'ecup\'erations > Port\'ee)}$ (exprimé en années).

-Le Coefficient de variation mesure de la dispersion relative : $\frac{\textit{Ecart type}}{\textit{Moyenne}}$

Indicateur de rentabilité :

- Prime commerciale : Estimation de la prime commerciale

$$\pi_{r\acute{e}assurance} = E(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}) + \rho" \times \sigma(X_{c\acute{e}d\acute{e}e}).$$

ho" = 10%: Le coefficient de chargement intégrant le chargement commercial et le chargement de sécurité.

- Résultat moyen = Prime commerciale Charge moyenne cédée (récupérations).
- Probabilité d'être rentable pour le traité : P(Résultat net > 0). Probabilité que les sinistres cédés soient supérieurs à la prime commerciale.

Indicateur sur le capital:

Définition de la VaR : $VaR(X; \alpha) = Inf\{x \mid Pr[X \le x] \ge \alpha\}$.

Charge cédée à 10 ans : VaR de la charge cédée à 10 ans (90%).

Charge cédée à 200 ans : VaR de la charge cédée à 200 ans (99,5%).

Le ROE cédé (ici vu en vision Var 200 ans) est un indicateur de coût du capital apporté par la réassurance (la définition du ROE peut changer d'une compagnie à une autre, en fonction de la mesure de risque, de la formule du calcul du résultat technique (intégration de la fiscalité)).

La réassurance permet une économie de fonds propres (capital apporté par la réassurance ou requis) sur des quantiles élevés, cette économie a un coût que l'on mesure à l'aide du ROE cédé (Return on equity)

```
 \begin{aligned} & \text{ROE C\'ed\'e} = \frac{\textit{R\'esultat technique net moyen}}{\textit{Capital apport\'e par la r\'eassurance (Var 200 ans)}} = \\ & \frac{\textit{R\'esultat technique net moyen}}{\textit{Capital brut requis} - \textit{Capital net requis}(\textit{Var 200 ans})} \end{aligned} .
```

Le capital apporté par la réassurance est défini comme la différence entre le capital brut et le capital net de réassurance. La mesure du capital requis n'est pas unique (TVaR, VaR, dépendante de l'approche retenue,), ici nous avons utilisé la VaR à 200 ans du capital cédée à la réassurance

Le capital apporté par la réassurance est défini comme la différence entre le capital brut et le capital net de réassurance. La mesure du capital requis n'est pas unique (TVaR, VaR, dépendante de l'approche retenue,), ici nous avons utilisé la VaR à 200 ans du capital cédée à la réassurance.

Indicateur spécifique de déviation du résultat (gain de la réassurance) :

```
Gain déviation réassurance 10 ans
```

```
=abs(\frac{Capital\ net\ requis(Var\ 10\ ans)-Capital\ net\ requis(Moyenne)}{Capital\ brut\ requis(Var\ 10\ ans)-Capital\ brut\ requis(Moyenne)}-1).
=abs(\frac{Capital\ net\ requis(Var\ 10\ ans-Moyenne)}{Capital\ brut\ requis(Var\ 10\ ans-Moyenne)}-1).
```

L'option de réassurance permet une économie de capital à 10 ans par rapport à la situation initiale (brut de réassurance). Cette économie est mesurée en delta par rapport à la sinistralité moyenne.

```
Gain déviation réassurance 200 ans
```

```
= abs \left( \frac{Capital\ net\ requis(Var\ 200\ ans) - Capital\ net\ requis(Moyenne)}{Capital\ brut\ requis(Var\ 200\ ans) - Capital\ brut\ requis(Moyenne)} - 1 \right).
= abs \left( \frac{Capital\ net\ requis(Var\ 200\ ans - Moyenne)}{Capital\ brut\ requis(Var\ 200\ ans - Moyenne)} - 1 \right).
```

L'option de réassurance permet une économie de capital à 200 ans par rapport à la situation initiale (brut de réassurance). Cette économie est mesurée en delta par rapport à la sinistralité moyenne

19 Caractéristiques de l'obligation cat bond

Risque d'asymétrie d'information pour l'investisseur :

Pour réduire le risque d'asymétrie d'information, PACIFICA devra fournir aux investisseurs des données détaillées concernant : l'exposition, l'historique des sinistres, la politique de souscription, la gestion des sinistres et l'évaluation et la modélisation des risques. Contrairement à une opération de réassurance traditionnelle, ces données détaillées devront être partagées avec la concurrence; si elles sont sollicitées par l'arrangeur pour investir dans l'opération.

Echéance de l'obligation, période d'évaluation et période d'extension :

Les cat bonds sont généralement pluriannuels, ce qui permet d'amortir les coûts fixes liés à la création de cette structure.

On parle de période de couverture ou d'échéance pour parler de la durée de la couverture.

En cas d'événements climatiques dépassant le seuil d'alerte pendant la période de couverture, PACIFICA dispose de quelques mois pour en informer l'arrangeur via un 'Event Notice' dans lequel sera mentionné l'estimation totale de la somme qui devra être reversée aux assurés pour ces événements.

En cas d'événement, un expert dit 'claims reviewer' se déplace chez PACIFICA afin de vérifier que les sinistres sont bien pris en charge par le contrat.

Après le passage du 'claims reviewer', un expert dit 'loss reserve specialist' vérifie l'exactitude des montants déclarés par PACIFICA c'est-à-dire qu'il vérifie que la méthode de provisionnement est identique à celle du contrat.

La période d'évaluation correspond à la durée donnée aux tiers indépendants pour réaliser l'estimation de l'événement.

Afin de limiter l'engagement des investisseurs et ne pas retarder l'indemnisation de PACIFICA, la période d'évaluation doit être rapide.

Les événements climatiques TGN sont rapidement payés, en effet il y a peu de tardifs sur ces périls, c'est ce qui les rend particulièrement adaptés pour ce type de protection.

A titre illustratif, nous estimons que 99% des événements climatiques TGN sont clôturés 2 ans après leur survenance au sein de PACIFICA. Après quelques mois, nous avons une bonne estimation du montant final de l'événement.

La période d'extension correspond à la durée donnée aux tiers indépendants post-échéance pour évaluer l'événement lorsque l'évaluation est complexe et qu'elle dépasse l'échéance.

Reset annuel:

Sur la période de couverture, la taille du portefeuille peut évoluer à la hausse ou à la baisse, entrainant une variation du risque de base pour la cédante et pour l'investisseur (cf. Partie 2 Réassurance alternative, 2-5-4 mécanisme de reset).

La clause 'reset' permet de maintenir un niveau de protection pluriannuel à un coût indépendant des conditions de marché.

Nous privilégierons un 'variable reset' dans le cadre de notre couverture c'est-à-dire que nous maintiendrons la priorité et la portée du XS afin d'éviter un éventuel trou de couverture avec notre programme actuel

Pour PACIFICA, le 'variable reset' présente l'inconvénient d'entrainer une modification du prix de la couverture chaque année. L'évolution du prix se fera en fonction de l'évolution des expositions.

20 SCOPE - Probabilité de défaut

Appendix I Scope's idealised expected loss and default probability tables

Figure 1. Idealised expected loss table

Scope	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	Year 8	Year 9	Year 10
AAA	0.001%	0.003%	0.008%	0.015%	0.025%	0.038%	0.055%	0.076%	0.101%	0.130%
AA+	0.002%	0.005%	0.012%	0.023%	0.039%	0.059%	0.084%	0.115%	0.151%	0.193%
AA	0.004%	0.013%	0.028%	0.050%	0.079%	0.115%	0.158%	0.208%	0.265%	0.329%
AA-	0.007%	0.016%	0.037%	0.068%	0.108%	0.157%	0.215%	0.281%	0.356%	0.439%
A+	0.012%	0.028%	0.064%	0.114%	0.175%	0.248%	0.331%	0.422%	0.523%	0.632%
A	0.021%	0.054%	0.106%	0.172%	0.252%	0.344%	0.447%	0.560%	0.683%	0.815%
Α-	0.035%	0.082%	0.160%	0.260%	0.377%	0.509%	0.653%	0.810%	0.978%	1.156%
BBB+	0.061%	0.170%	0.306%	0.462%	0.635%	0.823%	1.025%	1.240%	1.465%	1.702%
BBB	0.106%	0.287%	0.499%	0.733%	0.987%	1.258%	1.543%	1.842%	2.153%	2.475%
BBB-	0.182%	0.533%	0.923%	1.334%	1.758%	2.192%	2.634%	3.083%	3.538%	3.998%
BB+	0.571%	1.142%	1.713%	2.280%	2.841%	3.398%	3.950%	4.499%	5.044%	5.586%
ВВ	0.889%	1.778%	2.668%	3.526%	4.354%	5.154%	5.929%	6.683%	7.417%	8.133%
BB-	1.271%	2.541%	3.812%	5.014%	6.147%	7.220%	8.241%	9.217%	10.153%	11.055%
B+	2.302%	4.604%	6.280%	7.691%	8.952%	10.115%	11.209%	12.252%	13.253%	14.222%
В	2.971%	5.941%	8.032%	9.746%	11.245%	12.604%	13.863%	15.046%	16.170%	17.246%
B-	4.616%	8.971%	11.702%	13.777%	15.498%	16.999%	18.350%	19.593%	20.755%	21.855%
ccc	12.366%	19.533%	23.952%	27.264%	29.981%	32.328%	34.425%	36.344%	38.129%	39.812%
CC	23.538%	30.825%	35.785%	39.851%	43.465%	46.815%	50.000%	50.000%	50.000%	50.000%
С	41.960%	50.000%	50.000%	50.000%	50.000%	50.000%	50.000%	50.000%	50.000%	50.000%

Figure 2. Idealised default probability table

Scope	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5	Year 6	Year 7	Year 8	Year 9	Year 10
AAA	0.003%	0.007%	0.015%	0.029%	0.049%	0.076%	0.110%	0.151%	0.201%	0.260%
AA+	0.003%	0.010%	0.025%	0.047%	0.078%	0.118%	0.169%	0.230%	0.302%	0.386%
AA	0.007%	0.025%	0.056%	0.101%	0.159%	0.231%	0.316%	0.416%	0.530%	0.657%
AA-	0.014%	0.032%	0.073%	0.135%	0.216%	0.314%	0.430%	0.563%	0.712%	0.878%
A+	0.024%	0.056%	0.128%	0.227%	0.351%	0.496%	0.661%	0.845%	1.046%	1.264%
A	0.041%	0.107%	0.211%	0.345%	0.505%	0.689%	0.894%	1.120%	1.366%	1.630%
A-	0.071%	0.164%	0.321%	0.520%	0.754%	1.018%	1.307%	1.620%	1.955%	2.311%
BBB+	0.122%	0.341%	0.612%	0.924%	1.270%	1.646%	2.050%	2.479%	2.931%	3.404%
BBB	0.211%	0.574%	0.998%	1.467%	1.975%	2.516%	3.087%	3.684%	4.306%	4.950%
BBB-	0.364%	1.066%	1.846%	2.667%	3.516%	4.384%	5.269%	6.167%	7.076%	7.996%
BB+	1.142%	2.284%	3.426%	4.559%	5.682%	6.795%	7.900%	8.998%	10.089%	11.173%
вв	1.778%	3.557%	5.335%	7.053%	8.709%	10.309%	11.859%	13.366%	14.833%	16.266%
BB-	2.541%	5.082%	7.624%	10.027%	12.294%	14.441%	16.483%	18.434%	20.307%	22.109%
B+	4.604%	9.208%	12.559%	15.381%	17.903%	20.230%	22.419%	24.504%	26.507%	28.445%
В	5.941%	11.882%	16.063%	19.491%	22.490%	25.208%	27.726%	30.092%	32.340%	34.491%
B-	9.232%	17.941%	23.403%	27.554%	30.997%	33.998%	36.700%	39.187%	41.511%	43.709%
CCC	24.731%	39.066%	47.904%	54.528%	59.961%	64.656%	68.850%	72.688%	76.259%	79.624%
CC	47.076%	61.650%	71.569%	79.703%	86.929%	93.629%	100.000%	100.000%	100.000%	100.000%
С	83.919%	100.000%	100.000%	100.000%	100.000%	100.000%	100.000%	100.000%	100.000%	100.000%

Note: The idealised default probability values correspond to the idealised loss rate values when a severity of 50% is assumed.

Tableau 36: SCOPE idealised expected loss¹¹

 $^{^{11}\} https://www.scoperatings.com/ScopeRatingsApi/api/downloadstudy?id=4a900d79-d616-4e01-a160-e7aff38a6492$

21 Probabilité de défaut utilisée dans le cadre de Solvabilité 2

Échelon de qualité de crédit	0	1	2	3	4	5	6
Notation	AAA	AA	Λ	BBB	BB	В	CCC ou moins
Probabilité de défaut PD;	0,002%	0,01%	0,05%	0,24%	1,20%	4,20%	4,20%

Tableau 37 : Probabilité de défaut en fonction de la notation issue de l'article 199 du règlement délégué (UE) 2016/36.