

Couverture du Risque Responsabilité Civile Corporels Automobile avec les récentes évolutions réglementaires

Mémoire d'actuariat présenté pour l'obtention du

**Master professionnel Sciences de gestion, mention finances de marché
Spécialité Actuariat du CNAM**

Et l'admission à l'Institut des Actuares

Mémoire soutenu le 15 mars 2017

par M. Anasse YOUSSEFI

Caractère confidentiel : non

Jury :

Président : Michel FROMENTEAU

Membres : Laurence ESLOUS

Gwenaël BILLIOTTE

Patrick DEGIOVANNI

Pierre PETAUTON

Vincent RUOL

François WEISS

Pour la grande et la petite famille
YOUSSEFI

Remerciement

Tout d'abord, je remercie mon directeur de mémoire, Patrick DEGIOVANNI, pour son aide, ses conseils précieux et sa disponibilité.

Je remercie également les membres de la Direction Générale de Pacifica, ainsi que mes collègues du département RCPR.

Je saisis cette occasion pour remercier aussi toutes les personnes qui m'ont soutenue et encouragé à progresser tout au long de la rédaction de ce mémoire et particulièrement l'ensemble du corps enseignant de la chair Actuariat CNAM pour la qualité de la formation dispensée.

Abstract

In France, the main guarantee for unlimited insurance undertaking is the Motor third party liability. With costs over 6Md€ in 2013, the loss associated with this guarantee represents, by itself, half of the overall Motor vehicle spendings. The cost of personal injury, Which Represents Two thirds of that loss, is sharply worsening since 2008, with a yearly average swing greater than 5%.

The bodily injuries associated with this guarantee can change depending on technical issues such as the number and the cost of claims, annuities, transfers of capital, and the age of the victim, but also by an ever-flowing regulatory environment. As such, since January 1st, 2013, the FGAO must cover the indexation of disability allowances caused by traffic accident, which were originally covered by insurance companies. This evolution forced the sector to reassess the real cost of this transfer of risks.

Regulatory changes for Motor vehicle liability have a direct impact on the cost of risk and the development of claims. On the one hand, the additional cost is generally passed on to the insured's price. On the other hand, provisioning methods already incorporate a vision on the claim of settlements. Thus, taking into account these developments by the company requires the adaptation of pricing, and provisioning processes.

The reinsurance is often used as a means of hedging and transfer of risks which exceed the capacity of the insurance company. In treaties Motor vehicle liability, reinsurance is usually non-proportional. However, the reinsurance is not the only means of risk coverage, particularly in case of financial risks such as inflation.

Insurance companies are regulated businesses. They are governed by the general principle that any given insurance company has to have the financial capacity to settle any claims. To this end, it has to fully assess the risks and meet entirely its commitments face to face with policy holders. Following this logic, 2016 will see the adoption of the new reform about prudential rules, which are applied to the European industry of business insurance. Called "Solvency II", the need for capital would be based on the nature of the risks incurred by insurance companies. Contrary to Solvency I, Solvency II takes into account all mechanisms of risks mitigation. In this sense, the arbitration between the risks within the framework of the optimal allocation of the capital requires, on behalf of the insurance company, a better knowledge of its exposures and its levers of transfer of risks. We note that this knowledge coupled with the implementation of Solvency II is a source of increased complexity of the reinsurance decisions.

The dynamics of implementation of Solvency II will continue to put the issue of risk management at the heart of the leader's agenda. The aim of this report is to propose actuarial methods to objectify the choices of hedging of the tangible claims Automobile RC in the recent regulatory evolutions.

Key Words

Motor third party liability - Bodily injuries - Indexation of the annuities - AIPP - FGAO – Non-proportional reinsurance - Solvency II - Best estimate - Standard model

Résumé

En France, la principale garantie pour laquelle l'engagement de l'assureur est illimité est la responsabilité civile Automobile. Avec plus de 6Md€ de charges en 2013, la sinistralité associée à cette garantie représente, à elle seule, la moitié de la charge globale Automobile. Le coût des dommages corporels, qui représente les deux tiers de cette sinistralité, est en forte dégradation depuis 2008, pour une évolution moyenne de plus de +5% annuellement.

Les sinistres corporels sont impactés par plusieurs sources d'aléas d'ordre technique : nombre de sinistres, montant des sinistres, postes de préjudices, sortie en rentes/sortie en capital, âge de la victime...mais aussi par un environnement réglementaire en perpétuel mouvement. A ce titre, depuis le 1^{er} janvier 2013, la prise en charge de l'indexation des rentes des victimes de la circulation est transférée du Fonds de Garantie des Assurances Obligatoires de dommages vers les assureurs. Cette évolution est source de plusieurs réflexions dans le secteur pour évaluer le coût réel de ce transfert de risque.

Les évolutions réglementaires de la RC Automobile ont un impact direct sur le coût du risque et sur le déroulement des sinistres. D'une part, le coût supplémentaire est généralement répercuté sur le tarif de l'assuré. D'autre part, les méthodes de provisionnement intègrent déjà une vision sur la liquidation des sinistres. Ainsi, la prise en compte de ces évolutions par la compagnie requiert l'adaptation des processus de tarification et de provisionnement.

La réassurance est souvent utilisée comme un moyen de couverture et de transfert des risques qui dépassent la capacité de l'assureur. La réassurance non proportionnelle est couramment utilisée dans les traités RC Automobile. Cependant, la réassurance n'est pas le seul moyen de couverture des risques, notamment des risques d'ordre financier comme l'inflation.

L'assurance étant une activité réglementée; celle-ci repose sur un principe général : l'assureur doit disposer à tout moment de la capacité financière pour régler les sinistres. Dans cette approche, l'entrée en vigueur de la nouvelle réforme des règles prudentielles en 2016 appelée Solvabilité II permet le calcul du besoin en capital d'un assureur en fonction de la nature des risques encourus par celui-ci. De plus, l'apport incontestable de cette réglementation solvabilité II, ce qu'elle reconnaît tous les mécanismes d'atténuation des risques. Ainsi, l'allocation optimale du capital exige de la part de l'assureur une meilleure connaissance de ses expositions et de ses leviers de transfert des risques. Notons que cette connaissance conjuguée avec la mise en place de Solvabilité II est source d'accroissement de la complexité des modalités de prise de décision de réassurance,

La dynamique de mise en œuvre de Solvabilité II continuera à mettre la question de la gestion du risque au cœur de l'agenda des dirigeants. Ce mémoire a pour ambition de proposer, dans une approche globale, des méthodes actuarielles pour l'évaluation et la couverture des sinistres corporels RC Automobile dans le contexte des récentes évolutions réglementaires.

Mots clés

Responsabilité civile Automobile - Sinistres corporels- Indexation des rentes - AIPP - FGAO - Réassurance non proportionnelle - Solvabilité - Meilleure estimation - Modèle standard

TABLES DES MATIERES

REMERCIEMENT	2
ABSTRACT	3
RESUME	4
TABLES DES MATIERES	5
1. INTRODUCTION ET ELEMENTS DE CONTEXTE	8
1.1 LES CONCEPTS DE BASE	8
1.2 CONTEXTE REGLEMENTAIRE GENERAL	8
1.2.1 RAPPEL SUR LA REGLEMENTATION SOLVABILITE I	9
1.2.2 LA REFORME SOLVABILITE II	10
1.3 MODELISATION DES RISQUES BRUTS ET NETS DE REASSURANCE	12
1.3.1 SOLVABILITE II ET REASSURANCE	12
1.3.2 LA MODELISATION DES RISQUES ET DES STRATEGIES DE COUVERTURE	13
1.4 PERIMETRE DU MEMOIRE	14
1.4.1 LA RESPONSABILITE CIVILE AUTOMOBILE	14
1.4.2 CONTEXTE DE L'INDEXATION DES RENTES	15
1.5 CADRAGE DU MEMOIRE	16
2. LA GARANTIE RESPONSABILITE CIVILE AUTOMOBILE ET SON EVOLUTION	17
2.1 L'INDEMNISATION DES DOMMAGES CORPORELS RESPONSABILITES CIVILE AUTOMOBILE	17
2.1.1 CADRE REGLEMENTAIRE GENERAL	17
2.1.2 LE PROCESSUS D'INDEMNISATION DES VICTIMES	18
2.1.3 LA NOMENCLATURE DINTILHAC	20
2.1.4 CONVENTION PROFESSIONNELLE	21
2.1.5 L'INDEMNISATION SOUS FORME DE RENTES	22
2.1.6 L'INDEXATION DES RENTES	23
2.2 LES DONNEES DU MARCHE	25
2.2.1 LES SINISTRES DE RESPONSABILITE CIVILE CORPORELS DU MARCHE FRANÇAIS :	25
2.2.2 LES SINISTRES GRAVES DE RESPONSABILITE CIVILE CORPORELS	27
2.3 SYNTHESE	29
3. L'ENJEU FINANCIER DE L'INDEXATION DES RENTES	30
3.1 LES MECANISMES DE LA RENTE	30

3.1. 1 DEFINITION DE LA RENTE	30
3.1.2 TAUX TECHNIQUE ET TABLE DE MORTALITE	30
3.1.3 INDEXATION DE LA RENTE	32
3.1.4 REVISION DE LA RENTE	32
3.2 ESTIMATION DU COUT DE L'INDEXATION POUR LE MARCHE FRANÇAIS	33
3.2.1 HYPOTHESES DE L'ESTIMATION	33
3.2.2 MODELE D'EXPOSITION DU COUT DE LA REVALORISATION DES RENTES	35
3.2.3 RESULTAT DE LA MODELISATION	37
3.2.4 LIMITES DE LA MODELISATION	42
3.3 SYNTHESE	43
4. LA MODELISATION DES RISQUES SELON L'APPROCHE DE LA CEDANTE	44
4.1 TARIFICATION DE LA GARANTIE RC AUTOMOBILE	44
4.1.1 PRESENTATION GENERALE	44
4.1.2 LES SINISTRES SUR-CRETES	44
4.1.3 MODELISATION DE LA SOUS-CRETE	46
4.1.4 PRESENTATION DES MODELES LINEAIRES GENERALISES	46
4.2 LE CALCUL DES PROVISIONS POUR SINISTRES A PAYER	53
4.2.1 NOTATIONS ET FORMALISATION	53
4.2.2 LES METHODES DETERMINISTES	54
4.2.3 LES METHODES STOCHASTIQUES	56
4.3 LE CALCUL DES PROVISIONS BEST ESTIMATE DE LA RC CORPORELLE	59
4.3.1 LES MODALITES DE CALCUL DES PROVISIONNEMENTS POUR SINISTRES	59
4.3.2 LE CALCUL DU BEST ESTIMATE PROVISIONS SINISTRES:	59
4.3.3 L'ACTUALISATION DES FLUX FUTURS	59
4.3.4 RESULTATS SUR LES DONNEES DE MARCHE	61
4.4 SYNTHESE	64
5. LA CESSION DU RISQUE A LA REASSURANCE	65
5.1 LES DIFFERENTES STRUCTURES DE REASSURANCE :	65
5.1.1 MODES DE REASSURANCE :	65
5.1.2 FORMES DE REASSURANCE :	65
5.2.1 LES CLAUSES STANDARDS	67
5.1.2 LES CLAUSES SPECIFIQUES RCC	68
5.3 ANALYSE DU MARCHE DE LA REASSURANCE	69
5.3.1 CYCLE DE REASSURANCE	69
5.3.2 LES FACTEURS INFLUANT LE MARCHE DE REASSURANCE	69
5.3.3 LA PRIME DE REASSURANCE	71
5.4 COTATION DU RISQUE SELON L'APPROCHE DU REASSEUR	71
5.5.1 METHODE HISTORIQUE	72
5.5.2 METHODE DFA	72
5.5 LA COUVERTURE DU RISQUE RENTES AUTOMOBILE	79
5.5.1 LES SOLUTIONS EN REASSURANCE	79
5.5.2 LES SOLUTIONS ALTERNATIVES	81

5.6 SYNTHÈSE	83
6. L'APPORT DE SOLVABILITE II DANS L'ÉVALUATION DU BESOIN EN CAPITAL	84
6.1 PREAMBULE	84
6.1.1 BESOIN EN CAPITAL GLOBAL	84
6.1.2 CALCUL DU « <i>BEST ESTIMATE</i> »	85
6.2 LE MODULE RISQUE DE SOUSCRIPTION NON VIE	85
6.2.1 SOUS MODULE RISQUE DE PRIMES ET DE RESERVES	86
6.2.2 SOUS MODULE RISQUE CATASTROPHIQUE	91
6.3 LE MODULE RISQUE DE SOUSCRIPTION VIE	95
6.3.1 COMPOSANTES DU RISQUE	95
6.3.2 LES RENTES RC AUTOMOBILE ET LA FORMULE STANDARD	96
6.4 LE MODULE RISQUE DE DEFAULT OU DE CONTREPARTIE	97
6.4.1 PRÉSENTATION DES CALCULS DE LA FORMULE STANDARD	97
6.4.2 ANALYSE DE LA FORMULE STANDARD	99
6.5 SYNTHÈSE	101
CONCLUSION GÉNÉRALE	102
ANNEXES	103
ANNEXE 1 : DÉFINITION DES POSTES DE PRÉJUDICE DE LA NOMENCLATURE DINTILHAC	104
ANNEXE 2 : BAREME IRCA 2014 (CONCERNE LES VICTIMES CONSOLIDÉES EN 2014)	112
ANNEXE 3 : RÉPARTITION DES VICTIMES SELON LA GRAVITÉ EN 2011 (SOURCE AFA)	114
ANNEXE 4 : POIDS DES DIFFÉRENTS PRÉJUDICES INDEMNISÉS DES BLESSÉS AVEC AIPP SELON LA GRAVITÉ	115
ANNEXE 5 : ARTICLE A331-10	116
ANNEXE 6 : HISTORIQUE DE L'IPC ET DU TAUX DE REVALORISATION	117
ANNEXE 7 : TEST D'ADEQUATION HISTORIQUE TAUX DE SPREAD VS LOI NORMALE	118
ANNEXE 8 : AJUSTEMENT DES RATIOS CHAIN LADDER	119
ANNEXE 9 : PROJECTION DES CASH-FLOWS FUTURES	120
ANNEXE 10 : FAMILLE EXPONENTIELLE	121
ANNEXE 11 : CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES OATI	122
ANNEXE 12 : RÉSULTATS QIS A FIN 2014	123
ANNEXE 13 : SOUS MODULE RISQUE CAT	126
ANNEXE 14 : SEGMENTATION SOLVABILITE II	127
BIBLIOGRAPHIE	129

1. Introduction et éléments de contexte

1.1 Les concepts de base

L'assurance est une opération de couverture financière contre la survenance d'un événement incertain et aléatoire dommageable pour le client. Ainsi, moyennant le paiement d'une prime par l'assuré, l'assureur fixe d'avance le montant de cette prime et s'engage à couvrir l'aléa financier défini dans le contrat d'assurance. Dans la gestion des flux monétaires, l'assureur place les primes encaissées, constitue des réserves et règle les assurés en fonction de la sinistralité réalisée tout au long de la période de couverture. A la fin de chaque exercice, l'assureur calcule son résultat technique en tenant compte des primes encaissées, des sinistres réglés au cours de l'exercice, des provisions de sinistres restant à payer, du résultat financier et des frais de gestion des contrats et des sinistres.

La nature de l'activité d'assurance, notamment le cycle inversé de production¹ et l'incertitude qui porte sur la sinistralité réelle, implique que le prix de revient de l'opération d'assurance est inconnu lors de la souscription du contrat d'assurance. Cette caractéristique est source de plusieurs risques qui peuvent mettre en péril la capacité de l'assureur à honorer ses engagements. Parmi ces risques, on note le risque de sous-tarifcation des produits, le risque de sous-provisionnement des sinistres ou encore le risque de survenance d'un événement catastrophique impactant la capacité financière de l'assureur.

La solvabilité est la capacité d'assurer l'avenir plus ou moins lointain sans se retrouver dans une situation de faillite. Dans le domaine de l'assurance, le capital de solvabilité correspond au capital minimum qu'il faut détenir pour exercer l'activité d'assurance. Si les provisions techniques constituent un premier niveau de couverture des engagements de l'assureur vis-à-vis des assurés, le capital de solvabilité est défini pour permettre à l'assureur d'honorer ses engagements dans des situations extrêmes de sinistralité et des marchés financiers.

La réassurance ou " l'assurance des assureurs "est une opération par laquelle un assureur² transfère au réassureur³ tout ou partie des risques qu'il assume vis-à-vis de ses assurés, en contrepartie d'une prime et généralement d'une commission de réassurance. Cette technique de transfert du risque permet à l'assureur d'augmenter ses capacités de souscription, de se protéger contre les risques de sévérité et de se couvrir contre les risques non maîtrisés ou difficilement quantifiables. Le réassureur, quant à lui, mutualise les risques à l'échelle régionale, nationale voire planétaire. Même si cette opération est transparente pour l'assuré, elle demeure néanmoins une protection supplémentaire qui préserve ses intérêts. Elle autorise l'assureur à contenir son besoin en capital.

L'Automobile est le premier segment en assurance dommage. Sur ce segment, la garantie la plus volatile est la Responsabilité civile et plus particulièrement la charge relative aux sinistres corporels.

1.2 Contexte réglementaire général

Eu égard aux risques qui entourent l'activité d'assurance, une supervision de cette activité via des règles juridiques et comptables est indispensable pour préserver les intérêts des assurés. La réglementation en assurance est d'origine communautaire, les règlements et les lois étant issus des directives européennes, applicables dès leur transposition dans les pays membres. A l'image du secteur bancaire, cette réglementation au niveau européen vise deux objectifs : La protection du secteur par le renforcement des Fonds propres en lien avec les risques encourus afin d'améliorer la compétitivité d'industrie d'assurance et favoriser l'émergence d'acteurs transnationaux

¹ Encaissement des primes avant le règlement des sinistres

² Appelé aussi cédante

³ Appelé aussi cessionnaire

La directive Solvabilité I⁴ qui fixait l'exigence de capital d'une manière statique, a suscité de nombreuses critiques, notamment des insuffisances qualitatives et quantitatives dans l'évaluation de la solvabilité des compagnies d'assurance. Les régulateurs, suivis par les députés européens⁵, ont donc opté pour une évolution de cette réglementation en adoptant la réforme Solvabilité II fondée sur une approche économique des risques avec une valorisation des actifs et des passifs en valeur de marché.

1.2.1 Rappel sur la réglementation Solvabilité I

Les origines de Solvabilité I remontent aux années soixante-dix. Les directives modifiées et adoptées en 2002 fixent les exigences minimum en matière de sécurité financière au niveau européen, laissant aux pays membres le soin de mettre en place les mesures d'application.

Les grands principes de la réglementation Solvabilité I étaient les suivants :

- La détermination d'un niveau minimum de fonds propres basée sur une méthode forfaitaire (Exigence de marge de solvabilité -EMS-).
 - En assurance non vie :
EMS = max (Indic primes; indic sinistres) * (max 50%* (Charge sinistres nette de réassurance / Charge sinistres brute de réassurance)), avec :
 - Indic primes = 18% pour la première tranche de 10 M€ (50M€ à partir de 2007) de primes encaissées et 16% au-delà.
 - Indic sinistres = par rapport aux sinistres des 3 dernières années, 26% pour la première tranche de 7M€ (35M€ à partir de 2007) et 23% au-delà.
 - En assurance vie :
EMS = (0,04*PM1 + 0.01PM2) + (0,1%*CSR1 + 0,3%*CSR2) avec :
 - PM1 = provisions mathématiques des contrats en euros.
 - PM2 = provisions mathématiques des contrats en unité de compte.
 - Possibilité de déduire partiellement la part réassurée ;
 - CSR_i = capitaux sous risques en fonction de la durée de l'engagement i.
- Des provisions techniques suffisantes et calculées selon des méthodes prudentes.
- Une couverture des engagements réglementés par des actifs adéquats (règles de limitation d'actif, de dispersion et de congruence).

Malgré l'efficacité du système, plusieurs critiques ont été formulées à l'égard de la réglementation Solvabilité I, notamment :

- L'EMS est calculée en fonction du montant des engagements au passif ou du volume d'activité, et non pas en fonction de la nature et de la volatilité des risques qui caractérisent l'activité de l'entreprise.
- Les risques pesant sur l'actif du bilan (les placements réalisés en représentation des engagements) n'interviennent pas dans le calcul des fonds propres. Ainsi, dans un univers de choix diversifié de placements risque-rendement, les assureurs les plus prudents se trouvent pénalisés par rapport à leurs concurrents plus agressifs.
- Certaines formes de transfert de risque (réassurance non proportionnelle et titrisation) ne sont pas retenues dans le calcul de l'EMS.

⁴ En non-vie, la réglementation en vigueur en matière de solvabilité repose sur les dispositions de la directive 73/239/CEE modifiée par 2002/13/CE.

⁵ Les parlementaires européens se sont prononcés le mercredi 22 avril 2009 à 593 voix pour, 3 contre et 80 abstentions, sur cette réforme qui avait préalablement été approuvée par les Etats membres de l'Union européenne.

- Les corrélations entre branches et entre actifs et passifs ne sont pas captées par le calcul de l'EMS.
- Des insuffisances sont retracées sur la prise en compte des risques opérationnels. En effet, solvabilité I est transparente par rapport à la qualité de la gouvernance des risques des compagnies d'assurance.

1.2.2 La réforme Solvabilité II

Comme on a vu, Solvabilité II est une réforme européenne du marché de l'assurance qui est entrée en vigueur au 1 janvier 2016. Basée sur une approche économique des risques, cette réglementation vise à inciter les entreprises d'assurance à mieux comprendre et quantifier leur risque, et dans le même temps, améliorer le contrôle de la solvabilité par les autorités de contrôle.

Les piliers de la réforme :

A l'image de la réforme Bâle II dans le secteur bancaire, la réforme s'articule autour de trois piliers :

- le premier répertorie les exigences quantitatives relatives aux ressources financières,
- le deuxième est consacré au contrôle interne et aux pratiques de bonne gouvernance,
- le troisième améliore la transparence du marché via le renforcement des obligations de reporting.

Le schéma suivant présente la structure de la réforme :

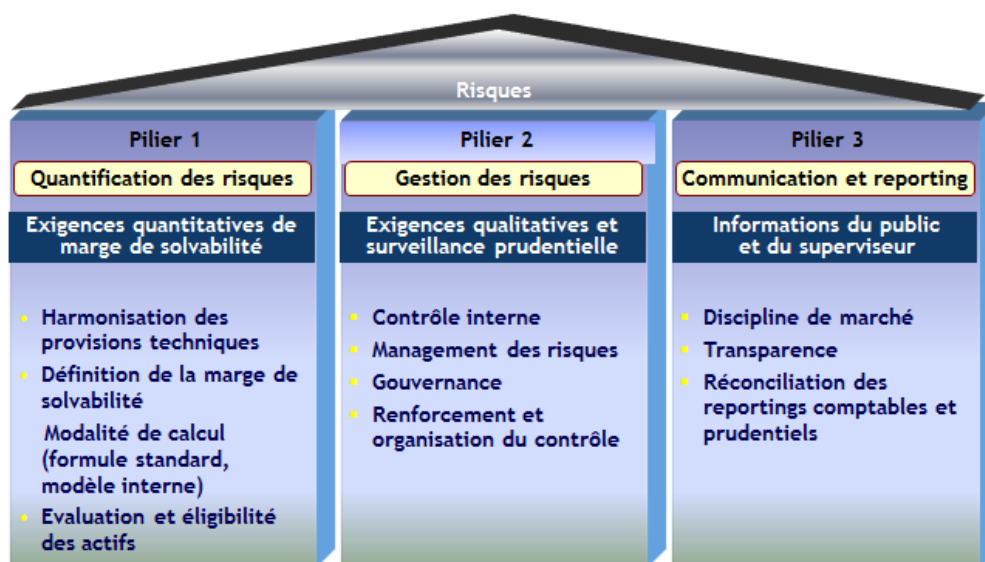


Figure 1.1 : Structure de la réforme Solvabilité II

Le pilier quantitatif de la réforme se base sur 4 axes :

- Un capital requis (Solvency Capital Requirement –SCR-) déterminé en fonction de la volatilité des risques associée à une probabilité de ruine réduite à 0.5% à un horizon d'un an. Autrement dit, le niveau de capital doit être calibré pour absorber un événement exceptionnel bicentenaire. Le schéma suivant présente le référentiel des risques retenus dans la formule standard : qui est appelée aussi « pieuvre S2 » par les risques managers

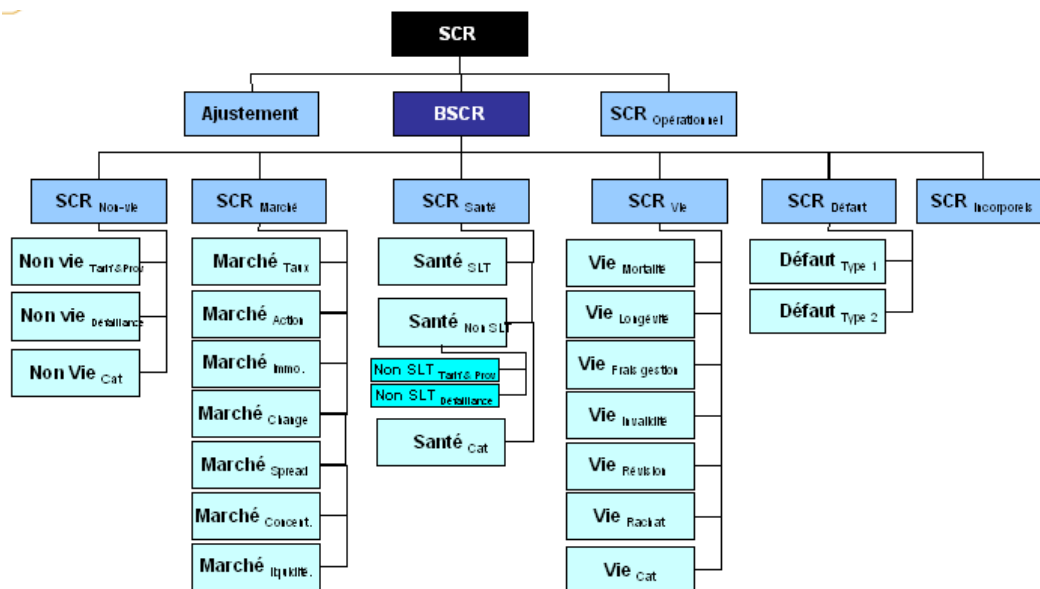


Figure 1.2 : Référentiel des risques Solvabilité II

- La détermination d'un montant minimum de fonds propres à détenir (Minimum Capital Requirement –MCR-). Basé sur un calcul simplifié, c'est le seuil plancher en dessous duquel les autorités de contrôle déclencheraient des sanctions graves pouvant aller jusqu'au retrait d'agrément.
- Un calcul des provisions techniques selon des méthodes de valeur actuelle probable des flux futurs (Best Estimate) et l'introduction d'une marge de sécurité supplémentaire.
- La valorisation des actifs et des passifs selon la valeur du marché « fair value ». Pour les classes non échangeables sur un marché standardisé, l'évaluation devrait se baser sur un « Best Estimate » plus une marge pour risque. Le schéma suivant illustre le passage du bilan prudentiel au bilan économique au sens de Solvabilité II :

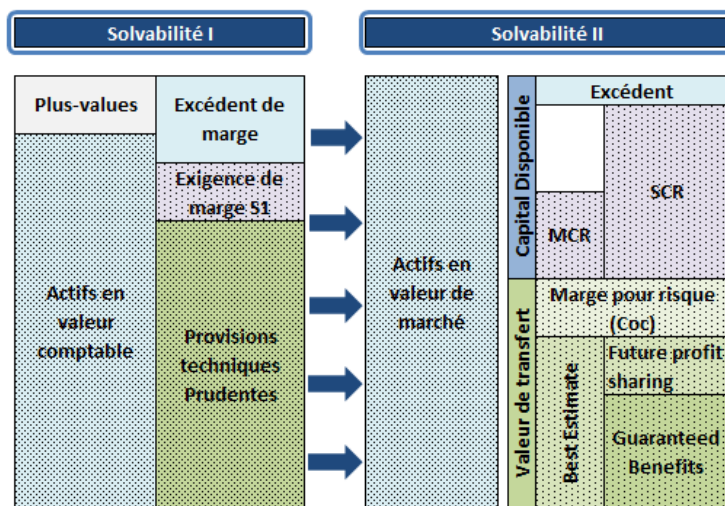


Figure 1.3 : Passage du bilan prudentiel au bilan économique (Source : ACP)

Le pilier 2 de la réforme fixe les exigences en matière de gouvernance, de contrôle interne et de risk management. Avec l'introduction de l'évaluation interne des risques et de la solvabilité (ORSA), le

législateur souhaite que les compagnies d'assurance calibrent et pilotent leur besoin en capital en fonction de leur profil et de leur appétence aux risques. Les autorités de contrôle ont les moyens juridiques de contrôle et la possibilité de demander un capital supplémentaire (capital add-on) en cas d'insuffisances avérées dans les procédures internes de gestion des risques (défaillance de la gouvernance des systèmes d'information, risques opérationnels, erreurs dans les processus).

Le pilier 3 a pour objectif de renforcer la transparence des assureurs vis-à-vis des assurés, des investisseurs et des autorités de contrôle. Il précise le contenu et la fréquence des obligations de publications des compagnies d'assurance. Les principes de communication financière reposent sur la délivrance d'une information fiable, pertinente et prospective.

Dans Solvabilité II, le législateur évalue la solvabilité générale des entreprises y compris par une approche prospective qui prend en compte tous les éléments qui influent sur la quantité et la qualité des risques assumés par les compagnies d'assurance. Dans ce contexte, le régulateur pourra reconnaître toutes les formes de réduction des risques.

1.3 Modélisation des risques bruts et nets de réassurance

La réassurance est primordiale pour les assureurs, car, elle est souvent utilisée comme un moyen de couverture et de transfert des risques. A cet effet, la modélisation des risques bruts et nets de réassurance permet à l'assureur de statuer sur le niveau de transfert des risques en tenant compte du coût de la réassurance, de l'espérance de sinistralité et du gain sur le capital immobilisé.

1.3.1 Solvabilité II et réassurance

Sous Solvabilité I, le bénéfice de la réassurance dans la réduction de l'EMS se limitait à 50% des traités quote-part en assurance non vie et à 15% en assurance vie. Solvabilité II envisage une intégration plus « exhaustive » de la réassurance dans le calcul de la marge de solvabilité. En effet ; les cédantes auront la possibilité de comptabiliser dans leurs engagements les transferts des risques aux cessionnaires, quel que soit leur taille ou leur nature. Cette atténuation du risque sera retenue sous réserve d'une prise en compte adéquate du risque de crédit que représente le réassureur⁶.

Les sociétés d'assurance doivent désormais disposer d'un niveau de capital leur permettant d'avoir une probabilité de ruine inférieure à 0.5% à l'horizon d'un an. Pour y parvenir, les entreprises d'assurance disposent de plusieurs moyens:

- Inclure dans les primes pures des chargements de sécurité permettant de couvrir le coût du capital immobilisé. cette possibilité est limitée par la taille de l'entreprise et sa capacité à mutualiser les risques, des chargements importants pouvant engendrer des pressions tarifaires de la concurrence.
- Accroître ses fonds propres par apport de capitaux extérieurs ou par émission de dette (par exemple Titres Subordonnés à Durée Indéterminée). Cette alternative est limitée par la baisse du taux de rendement de l'activité et du taux de retour sur capitaux propres (Return On Equity).
- Limiter les souscriptions par l'application d'une politique de sélection des risques rigoureuse. Cette solution est limitée par la baisse de l'activité, le manque à gagner des contrats non souscrits et la perte du chiffre d'affaires économiquement acceptable. Par ailleurs, le caractère aléatoire des sinistres individuels limite l'impact réel de cette solution.
- Utiliser la coassurance qui répartit horizontalement un même risque entre plusieurs assureurs. Cette solution a cependant pour inconvénient de requérir le consentement de

⁶ Cf. Section 4.4

l'assuré et de ne pas dégager une capacité suffisante pour la couverture des risques d'intensité, des risques nouveaux et des risques catastrophiques.

- Faire appel aux techniques de transfert de risques. Avec la réassurance, l'assureur se décharge sur le réassureur de tout ou partie des risques qu'il couvre, moyennant le paiement des primes pures correspondant aux coûts espérés des risques transférés.

La réassurance permet à l'assureur d'optimiser le besoin en capital pour la couverture de la marge de solvabilité. En fonction des conditions des marchés financiers et du coût de capital, l'assureur arbitre entre augmentation de capital et réassurance.

Une tendance de marché semble inévitable avec solvabilité II : en fonction du niveau de capital de solvabilité requis, l'intérêt de la couverture de réassurance devrait être renforcé. Cette hypothèse sur l'évolution du marché de la réassurance est cohérente avec les résultats des QIS⁷, qui montrent une baisse des marges de solvabilité des compagnies d'assurance en application des nouvelles dispositions Solvabilité II. Au même titre, le besoin de diversification des réassureurs au sein des groupes d'assurance, la concentration du risque pour les petites mutuelles monobranches, le coût de l'immobilisation du capital et la maîtrise du risque de crédit, sont autant de raisons qui devraient accroître le recours à l'externalisation des risques.

1.3.2 La modélisation des risques et des stratégies de couverture

D'une part, les crises financières de ces dernières années et la baisse des rendements financiers ont conduit les assureurs à se recentrer sur leur cœur de métier, à savoir, la recherche de la rentabilité technique obtenue par un ratio combiné favorable. L'espérance de rentabilité technique est donc un critère principal dans la souscription. D'autre part, le besoin en capital exigé par le régulateur est désormais basé sur le niveau d'incertitude qui pèse sur le risque de souscription. La réassurance en tant que moyen de transfert de risques permet de réduire la volatilité mais, en même temps, elle réduit la rentabilité espérée.

Afin d'optimiser le capital immobilisé et de maximiser la rentabilité espérée, l'assureur devra développer des modèles d'exposition et de couverture. Ces modèles permettront de calibrer par la suite les politiques de cession des risques. Dans le même sens, la modernisation du dispositif de gestion des risques attendue dans Solvabilité II⁸, requiert la définition de l'appétence aux risques, le développement de modèles économiques et des indicateurs de pilotages de ces modèles.

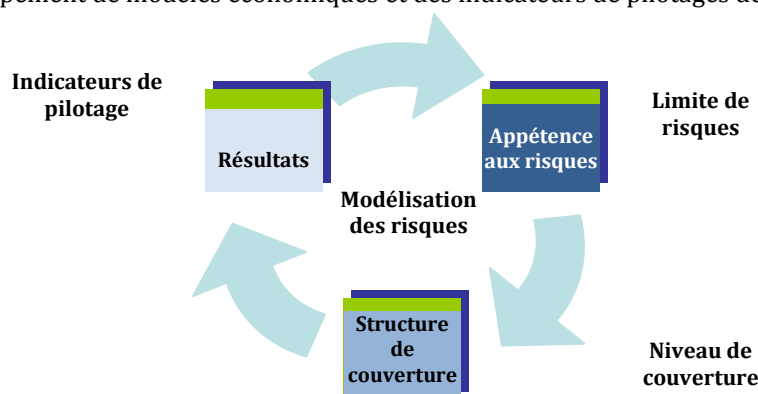


Figure 1.4 : La modélisation des risques et processus de gestion des risques

⁷ Les études quantitatives d'impacts permettant d'évaluer la faisabilité des nouvelles règles, d'étudier l'impact sur le bilan et de vérifier l'adéquation des spécifications techniques aux principes définis dans la directive. La cinquième QIS a été réalisé en juin 2010. Le SCR global des participants au QIS5 s'élève à 101Md€, il est couvert par un surplus de 82Md€. Pour mémoire, le surplus sous Solvabilité I sur le même périmètre est d'environ 106Md€ (soit une baisse de 24Md€ de surplus de couverture).

⁸ ORSA et Profil de risque propre

Aujourd’hui, les stratégies de réassurance proportionnelles sont souvent résumées à un choix de transfert partiel d’un portefeuille. Quant aux stratégies de réassurance non proportionnelle, elles dépendent souvent d’un budget et d’un niveau de protection souhaité⁹.

Dans Solvabilité II, la Réassurance non proportionnelle (RNP) est intégrée dans le calcul de la formule standard, les assureurs doivent désormais intégrer un nouveau paramètre qui est le gain du besoin en capital immobilisé. La prise en compte efficiente de la RNP impliquera le développement de modélisations internes, car elle est souvent la réponse d’un besoin sur mesure, avec des spécificités (priorité, plafond, franchise...) propres à l’aversion aux risques de la compagnie d’assurance

Concernant les couvertures financières, leur déploiement est conditionné par la disponibilité des modèles économiques des risques.

1.4 Périmètre du mémoire

En France, la principale garantie par laquelle l’engagement de l’assureur est illimité est la responsabilité civile Automobile.

La sinistralité associée à cette garantie est liée à plusieurs sources d’aléas d’ordre technique : nombre de sinistres, montant des sinistres, dommages matériels/dommages corporels, postes de préjudices, sortie en rentes/sortie en capital, âge de la victime, mais aussi à un environnement réglementaire en perpétuelle évolution.

A ce titre, depuis le 1^{er} janvier 2013, la prise en charge de l’indexation des rentes des victimes de la circulation est transférée du FGAO vers les assureurs. Cette évolution est source de plusieurs réflexions dans le secteur pour évaluer le coût réel de ce transfert de risque.

1.4.1 La responsabilité civile automobile

La charge sinistre RC automobile en 2013 et le poids des sinistres corporels :

Selon la dernière étude publique de la FFSA-GEMA¹⁰, les sinistres Responsabilité Civile représentent respectivement 22% et 48% de la volumétrie et de la charge des sinistres automobile :

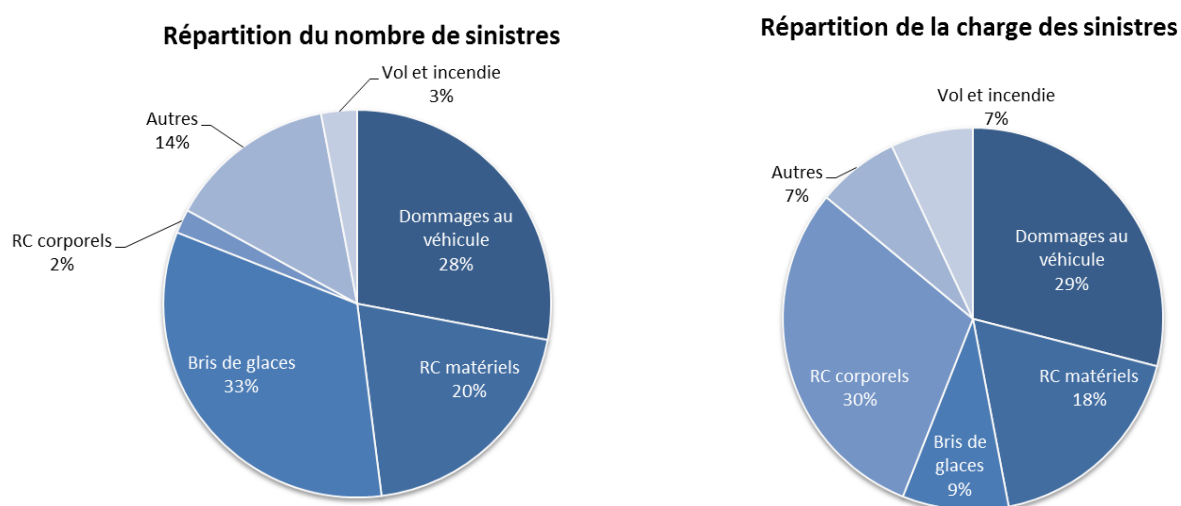


Figure 1.5 : Répartition des sinistres Automobile 2013 par garantie (Source FFSA-GEMA)

⁹ Priorité et plafond

¹⁰ Publiée en juin 2015

Dans cette charge sinistres RC, les dommages corporels représentent 30% de la charge globale des sinistres automobile (soit 3,84Md€ sur 12,8Md€ vue fin de la première année et hors assistance), alors qu'en volumétrie, ils ne représentent que 2% des sinistres automobile (soit 186 000 sur 9 300 000 sinistres automobile 4 roues). Dans la charge des sinistres corporels, le poids des sinistres graves (sinistre avec un taux AIPP supérieur à 20%) se situe autour de 58% de la charge sinistres pour une volumétrie qui ne représente que 2% des cas. Ces résultats montrent l'importance des sinistres corporels sur les résultats de la branche automobile.

Indemnité sous forme de rente :

En fonction du taux d'Atteinte à l'Intégrité Physique et Psychique (AIPP) qui mesure la gravité du dommage corporel, des indemnités sont versées pour couvrir les dépenses de santé et d'assistance par tierce personne, les pertes de gains professionnels futurs, le préjudice du déficit fonctionnel permanent, les préjudices personnels etc (cf. section n° 2.1 indemnisation des dommages corporels). Après la période de consolidation, les sommes sont versées sous forme de rentes ou de capital. La modalité de transaction est décidée conjointement par la victime, son avocat, l'assureur et le juge en cas de décision judiciaire.

En 2002, 20% des dossiers RCC ont été réglés sous forme de rente, alors que sur la période récente ce taux est estimé à 50%¹¹. En effet, les assureurs¹² et les juges privilégient ce mode de transaction pour les sinistres corporels graves car il permet de couvrir les frais futurs et le risque d'une mauvaise gestion du capital par des personnes fragiles. Le tableau ci-dessous expose les avantages et les inconvénients pour l'assureur des deux modes d'indemnisation :

Transaction	Avantages	Inconvénients
Capital	Dossier clos en gestion de sinistres, en comptabilité et en réassurance (en absence d'aggravation de l'état de santé de la victime)	Pas de réduction du coût de sinistres en cas de décès prématuré ou amélioration de l'état de santé de la victime
		Marge de négociation dans le barème de capitalisation à retenir dans le calcul du capital
Rentes	Réduction du coût de sinistre en cas de décès prématuré ou amélioration de l'état de santé de la victime	Suivi des rentes en service (échancier, versement, certificat de vie,...) - mise en place d'un service sinistres de gestion des rentes
	Remboursement de la revalorisation de la rente par le Fonds de Garantie des Assurances Obligatoires (FGAO) - sinistres survenus avant le 1 ^{er} janvier 2013	Dossier non clos en comptabilité et en réassurance
		Coût du capital SCR vie- à partir de 1 ^{er} janvier 2013-

Figure 1.6 : Avantages & inconvénients des deux formes d'indemnisation (Capital vs rentes)

1.4.2 Contexte de l'indexation des rentes

Depuis 1974¹³, les victimes d'accidents de la circulation causés par un véhicule à moteur, indemnisées sous forme de rente soit par transaction soit par décision judiciaire, bénéficient d'un

¹¹ Cf. Article 27 du rapport Christian ECKERT, ASSEMBLÉE NATIONALE N° 465, 28 novembre 2012

¹² Dans le livre blanc de l'indemnisation du dommage corporel présenté en 2008, les assureurs recommandent cette solution qui préserve les intérêts des victimes.

¹³ Loi de 27 Septembre 1974 modifiée par la loi dite Badinter du 5 juillet 1985.

mécanisme de revalorisation de rentes indexé sur l'inflation. L'indexation de rentes automobile s'effectue selon le taux de majoration annuelle des rentes accidents du travail (article L434-17 du Code de la Sécurité Sociale), communiqué par le Ministère de l'Economie. A titre indicatif, ces dernières années, les majorations légales de rentes ont évolué autour de 2 % par an.

L'indexation d'une rente n'est pas calculée à l'avance. En effet, il est impossible de prendre en compte l'indexation d'une manière exacte lors du provisionnement des sinistres, dans la mesure où l'indice de référence retenu n'est connu qu'à l'attribution.

Les revalorisations des rentes ont été gérées à l'origine par un fonds dédié créé en 1974. A partir de 1991, les majorations sont transférées directement au budget de l'Etat. Enfin, en 2003, la loi de sécurité financière a transféré cette charge au Fonds de Garantie des Assurances Obligatoires de dommages (FGAO) sans contrepartie de financement.

La loi de Finances rectificative 2012, votée le 29 décembre 2012, a prévu de porter à la charge des assureurs les revalorisations de rentes servies aux accidentés de la circulation à partir de 2013 alors qu'elle incombait précédemment au FGAO. Ce transfert de risque vise à décharger les finances du fonds auquel cette charge avait été confiée.

L'indexation des rentes doit être considérée sur des périodes très longues (souvent 20, 30, 40 ans ou plus), notamment pour les jeunes victimes avec un déficit fonctionnel permanent et nécessitant les services d'une tierce personne. En 2011, les provisions techniques constituées par le FGAO au titre des majorations des rentes atteignaient les 713 millions d'euros. Considéré initialement comme une activité annexe du FGAO, le stock des rentes à valoriser a ensuite pesé lourdement sur l'équilibre financier du fonds. Sur la seule année 2012, le stock est passé de 7500 à 9000 rentes en 2012 (soit +20%). Les assureurs doivent désormais prendre en compte ce coût, dans la tarification, dans les provisions techniques, dans les programmes de réassurance et dans le coût du capital immobilisé.

1.5 Cadrage du mémoire

Ce mémoire a pour ambition de proposer des méthodes actuarielles pour objectiver les choix de couverture des sinistres corporels Automobile dans le contexte des récentes évolutions réglementaires.

Selon nos études, nous estimons que l'évaluation du risque RC Automobile devrait désormais davantage intégrer le coût financier de l'indexation des rentes et le besoin en capital supplémentaire généré par la mise en place des exigences Solvabilité II.

La réassurance a un impact financier sur l'ensemble des performances d'un assureur, y compris sur sa marge de solvabilité. La modélisation des risques permet d'évaluer l'impact des différentes stratégies de réassurance en quantifiant les trois composantes suivantes : la protection achetée, le coût de la réassurance et le capital-risque immobilisé.

Afin d'évaluer les différents impacts, le sujet sera traité en cinq parties :

- la première sera consacrée à une présentation générale de la garantie RC Automobile.
- la deuxième proposera un modèle d'exposition de l'indexation des rentes.
- la troisième partie reviendra sur les modèles utilisés par les assureurs pour tarifier et provisionner les risques RCC.
- la quatrième sera consacrée aux modèles de sur-crête utilisés par les réassureurs ainsi qu'aux possibilités de couverture de l'indexation des rentes.
- la dernière partie sera dédiée aux nouvelles règles de solvabilité II qui déterminent le besoin en capital au titre de la garantie RC Automobile.

2. La garantie Responsabilité Civile Automobile et son évolution

La garantie responsabilité civile couvre deux natures de dommage : d'une part, les dommages matériels causés à une personne morale ou physique tiers et d'autre part, les dommages corporels causés à une personne physique tiers.

L'évaluation des sinistres matériels est simple en théorie puisque elle se base sur la valeur de l'achat ou la valeur vénale du bien. Concernant les sinistres corporels, l'évaluation est assez complexe puisque elle doit prendre en compte des dommages portant atteinte à l'intégrité physique, morale ou morale de la victime.

2.1 L'indemnisation des dommages corporels responsabilités civile Automobile

Le plafond d'indemnisation en Responsabilité Civile Automobile est illimité pour les dommages corporels¹⁴ et il est au moins de 1,12M€ par sinistre pour les dommages matériels¹⁵. Le conducteur responsable n'est pas considéré comme tiers au véhicule. Il existe une assurance facultative, appelée garantie du conducteur, qui permet de couvrir le conducteur en cas de sinistre responsable et partiellement responsable. Le rôle de l'assurance consiste à se substituer au responsable pour indemniser la victime.

2.1.1 Cadre réglementaire général

La responsabilité civile en droit commun :

On distingue généralement deux types de responsabilité :

- la responsabilité civile qui est mise en jeu dès lors qu'il y a un dommage;
- la responsabilité pénale qui est mise en jeu dès lors qu'il y a une infraction commise (contravention, délit, crime) et qui renvoie à la punition ou à l'amendement de l'individu. Elle est générée suite à un fait de non-respect de la loi qui conduit vers un recours de l'Etat contre un trouble à l'ordre public.

La responsabilité civile est l'obligation de réparer un dommage causé à autrui. Le principe de réparation est régi par le droit commun. Selon l'article 1382 du code civil : "*Tout fait quelconque de l'homme, qui cause à autrui un dommage, oblige celui par la faute duquel il est arrivé à le réparer*". L'article 1383 du code civil dit : "*Chacun est responsable du dommage qu'il a causé non seulement par son fait, mais encore par sa négligence ou par son imprudence.*"

Par ailleurs, la responsabilité est engagée du fait personnel, du fait d'autrui ou soit du fait des choses. L'article 1384 du code civil précise : "*On est responsable non seulement du dommage que l'on cause par son propre fait, mais encore de celui qui est causé par le fait des personnes dont on doit répondre, ou des choses que l'on a sous sa garde*".

La RC est engagée lorsque le dommage est direct, certain, licite et personnel. Il devrait y avoir aussi un fait générateur et un lien de causalité entre le dommage et le fait générateur.

La RC est soit contractuelle lorsqu'elle est liée à la non-exécution d'un engagement ou d'une disposition contractuelle, soit délictuelle lorsque le dommage est causé par une faute intentionnelle, soit quasi-délictuelle lorsque le dommage est causé par une faute non intentionnelle du responsable

¹⁴ Cf. code des assurances article R211-7

¹⁵ Minimum réglementaire de plafond de couverture: Cf. code des assurances article A211-1-3

ou par une personne ou chose dont on est responsable. La RC automobile que nous étudions ici est quasi-délictuelle.

La responsabilité Civile Automobile

En RC Automobile, le rôle de l'assurance consiste à se substituer au responsable pour indemniser la victime. Cette garantie est définie le 13 juillet 1930 dans le cadre de la loi sur l'assurance automobile et reste alors facultative. Elle devient obligatoire par la loi du 27 février 1958 (articles L211-1 et A211-1 et suivants du Code des assurances) qui vise à protéger les victimes de dommages corporels et/ou matériels lors d'un sinistre automobile.

La RC automobile est élargie par la loi du 7 janvier 1981 qui stipule que les membres de la famille du conducteur ou de l'assuré sont désormais considérés comme des tiers. De même, le 9 juin 1983, un décret (repris ensuite dans la loi 93-121 du 27 janvier 1993) étend la notion de tiers au préposé, au souscripteur, au propriétaire et au gardien; seul le conducteur reste exclu.

La loi Badinter du 5 juillet 1985 étend le périmètre de la garantie RC et permet l'amélioration de la situation des victimes d'accidents de la circulation et l'accélération des procédures d'indemnisation. Elle vient ainsi préciser:

- le champ d'indemnisation concerné : toute atteinte à la personne. Il peut s'agir d'une atteinte à l'intégrité physique, morale ou économique.
- la définition de l'événement couvert : tout accident impliquant un véhicule terrestre à moteur (automobile, deux-roues, autocar, tracteur...), qu'il soit en arrêt ou en mouvement, est considéré comme un accident de la circulation.
- la qualité de tiers : toutes les victimes ayant subi un dommage sont concernées par la loi, quelle que soit leur qualité. Leurs dommages corporels sont indemnisés en intégralité.
- Les exclusions :
 - les accidents causés par les trains et les tramways circulant sur des voies qui leur sont propres.
 - la faute inexcusable de la victime. Néanmoins, cette exclusion ne s'applique pas aux victimes âgées de moins de 16 ans, de plus de 70 ans ou titulaires au moment de l'accident d'un titre d'invalidité au moins égal à 80 %.
 - les victimes qui ont volontairement couru leurs dommages (exemple : cas de suicide).

La prescription extinctive des actions en RC Automobile est biennale pour l'assuré et décennale pour la tierce victime. Le délai est calculé par rapport à la date de survenance ou de réouverture du dossier en cas d'aggravation.

L'indemnisation des dommages liés à la RC Automobile est basée sur le principe d'une réparation intégrale du dommage. La victime ne doit pas minorer son préjudice ni s'enrichir de la réparation. Ce principe se résume par "*Tout le préjudice, rien que le préjudice*". Ainsi, en RC corporelle, un cumul d'indemnités est interdit pour les frais de santé. C'est la raison pour laquelle les tiers payeurs peuvent exercer des recours sur l'indemnité versée.

2.1.2 Le processus d'indemnisation des victimes

Le processus d'indemnisation des victimes de la circulation comprend plusieurs étapes clés :

a- La déclaration de l'accident

L'assuré impliqué dans un accident de circulation doit déclarer le sinistre à son assureur dans les meilleurs délais. Par ailleurs, les victimes doivent recueillir les informations nécessaires pour identifier le conducteur, le véhicule impliqué et l'assureur du véhicule.

Le constat amiable rempli lors de l'accident décrit les circonstances et permet de déterminer les dommages et la responsabilité des conducteurs.

b- L'envoi d'un questionnaire à la victime :

Le courrier envoyé par l'assureur à la victime comprend :

- un rappel des droits de la victime : délivrance du procès-verbal de la gendarmerie ou de police, assistance d'un avocat ou d'un médecin de son choix.
- un questionnaire qui porte sur la description des dommages corporels et la situation socio-professionnelle de la victime.

c- L'évaluation des dommages corporels et l'examen médical

En fonction de la gravité des dommages corporels de la victime, l'examen médical est établi par :

- un avis sur pièce pour les dommages corporels légers. Les pièces fournies sont délivrées par le médecin choisi par l'assureur.
- une expertise médicale¹⁶ pour les dommages corporels lourds. La victime peut faire appel à un médecin de son choix pour l'assister.

d- La date de consolidation

La date de consolidation est définie comme suit¹⁷ :

"le moment où les lésions se fixent et prennent un caractère permanent tel qu'un traitement n'est plus nécessaire, si ce n'est pour éviter une aggravation et qu'il est possible d'apprécier un certain degré permanent réalisant un préjudice définitif."

La date de consolidation est ainsi établie lorsque les séquelles ont un caractère définitif et stable.

e- Les postes de préjudice

Le médecin expert établit le bilan de l'état médical de la victime selon plusieurs postes de préjudices :

- le déficit fonctionnel partiel : taux d'atteinte permanente à l'intégrité physique et psychique (AIPP) qui est évalué entre 0 et 100 %.
- les pertes de gains professionnels actuels : perte de revenus liée à l'état de santé de la victime.
- les souffrances endurées : les souffrances physiques et psychiques subies sur une échelle de 1 à 7 (de très léger à très important).
- le préjudice esthétique : dommages esthétiques estimés de 1 à 7 (de très léger à très important).
- le préjudice d'agrément : suppression ou diminution définitive ou temporaire des activités de loisir de la victime.
- les aménagements nécessaires : domicile, véhicule....
- les appareillages : fauteuil roulant, lit élévateur....
- l'assistance par tierce personne : assistance dont a besoin la victime dans la vie courante.

f- L'offre d'indemnisation

A la suite de la demande d'indemnisation faite par la victime, l'assureur est contraint d'envoyer une offre d'indemnisation dans un délai de trois mois¹⁸. Dans le cas contraire, il doit préciser les motifs du refus.

¹⁶ Une convocation est adressée au moins quinze jours avant l'examen. Après l'examen, l'expert de l'assureur dispose de vingt jours pour faire parvenir un exemplaire de son rapport à la victime

¹⁷ Texte rédigé en 1987 par la Commission de réflexion sur l'évaluation du dommage corporel

Si l'assureur démontre que le préjudice n'est pas entièrement quantifié ou que la responsabilité n'est pas clairement établie, il dispose d'un délai de 8 mois après l'accident pour faire une offre¹⁹. L'offre définitive d'indemnisation ne sera faite que dans un délai de cinq mois suivant la date à laquelle l'assureur aura été informé de la consolidation.

Le délai réglementaire pour proposer une offre d'indemnisation est en faveur de la victime, soit trois mois à compter de sa demande d'indemnisation ou huit mois à compter de l'accident. Il peut être prolongé dans les situations suivantes :

- si l'assureur n'est pas informé de l'accident pendant le mois qui suit,
- si l'assureur reçoit le questionnaire après plus de six semaines,
- si la victime conteste ou refuse l'examen médical.

L'offre peut prévoir le versement d'une rente viagère ou une sortie en capital.

g- Acceptation de l'offre d'indemnisation

L'offre d'indemnisation de l'assureur peut être :

- acceptée par la victime. Dans ce cas, celle-ci doit confirmer son accord par lettre recommandée avec accusé de réception dans un délai de quinze jours. L'assureur envoie le règlement au plus tard quarante-cinq jours après son acceptation.
- refusée par la victime. Dans ce cas, celle-ci peut soit demander à l'assureur de revoir son offre d'indemnisation, soit porter l'affaire devant un tribunal qui statuera sur le montant final.

h- Révision de l'indemnisation :

En cas d'aggravation de l'état de santé de la victime, cette dernière dispose d'un délai de dix ans à compter de l'aggravation de son état pour le signifier à l'assureur qui l'a indemnisée. L'aggravation doit être en lien direct avec l'accident et non prévue dans l'offre d'indemnisation initiale.

2.1.3 La nomenclature Dintilhac

Pour l'indemnisation des dommages corporels automobile, il existe depuis 2005 un référentiel appelé la nomenclature Dintilhac²⁰. Même si elle n'est pas adoptée par le législateur comme un cadre obligatoire d'indemnisation, elle est communément utilisée par le marché. En effet, elle est fortement recommandée par tous les acteurs²¹ car elle permet d'améliorer l'équité, la transparence et la gestion des indemnisations.

La nomenclature comporte une liste de postes de préjudices corporels²² qui concernent les victimes directes et les victimes indirectes (27 au total). La liste n'a pas vocation à être exhaustive; elle permet seulement de tracer un cadre d'indemnisation. Par ailleurs, les préjudices ne sont pas forcément tous indemnifiables. Cela dépend de la gravité de l'accident corporel et des séquelles causées aux victimes.

¹⁸ Il est possible de faire appel à un tribunal sans attendre l'offre d'indemnité amiable.

¹⁹ En cas de non-respect de ces délais par l'assureur, l'indemnisation est majorée d'un intérêt du double du taux légal pendant la période comprise entre la fin du délai et la date de l'offre.

²⁰ Du nom du Président du groupe de travail M. Jean-Pierre DINTILHAC, Président de la 2ème chambre civile de la Cour de cassation, qui a présenté dans un rapport publié en 2005 une nomenclature d'indemnisation des dommages corporels.

²¹ Les assureurs dans le livre Blanc sur l'indemnisation du dommage corporel (2007) et le Ministère de la justice dans la circulaire du 2 février 2007.

²² Cf. annexe 1: Définition des postes de préjudice de la nomenclature Dintilhac

La nomenclature Dintilhac recense les postes de préjudices donnant lieu à indemnisation selon une architecture tripartite :

- préjudices patrimoniaux et extra patrimoniaux : distinction selon le caractère pécuniaire des préjudices.
- préjudices temporaires et préjudices permanents : distinction selon la durée des préjudices avec une ligne de partage fixée à la date de consolidation.
- préjudices de la victime directe et ceux de la victime indirecte : séparation des préjudices de la victime sinistrée et ceux de ses proches, avec une distinction en cas de survie de la victime directe.

Le tableau ci-dessous présente les préjudices recensés dans la nomenclature :

Victime directe	
Préjudices Temporaires	Préjudices permanents
1. Dépenses de santé actuelles	1. Dépenses de santé futures
2. Frais divers	2. Frais de logement adapté
3. Pertes de gains prof. Actuels	3. Frais de véhicule adapté
4. Déficit fonctionnel temporaire	4. Assistance par tierce personne
5. Souffrances endurées	5. Perte de gains prof. Futurs
6. Préjudice esthétique temporaire	6. Incidence professionnelle
	7. Préjudice scolaire, universitaire ou de formation
	8. Déficit fonctionnel permanent
	9. Préjudice esthétique permanent
	10. Préjudice d'agrément
	11. Préjudice sexuel
	12. Préjudice d'établissement
Victimes indirectes	
En cas de Décès	En cas de survie
1. Frais d'obsèques	1. Pertes de revenus des proches
2. Pertes de revenus des proches	2. Frais divers des proches
3. Frais divers des proches	3. Préjudice d'affection
4. Préjudice d'accompagnement	4. Préjudices extra-patrimoniaux exceptionnels
5. Préjudice d'affection	

Préjudices patrimoniaux
 Préjudices extra-patrimoniaux

Figure 2.1 : Liste des préjudices de la nomenclature Dintilhac

2.1.4 Convention professionnelle

Depuis avril 2002, les professionnels de l'assurance ont convenu le principe d'une indemnisation directe des victimes par la compagnie qui assure. Ce principe a pour objectif d'accélérer l'indemnisation des victimes et de faciliter la gestion des recours. Il est instauré dans le cadre d'une convention signée entre les sociétés d'assurances (FFSA et GEMA) appelée convention d'Indemnisation et de Recours Corporel Automobile (IRCA).

La convention IRCA est applicable lorsque le sinistre corporel est déclaré avec un taux AIPP (ou DFP) inférieur ou égal à 5%. Elle couvre les accidents de la circulation impliquant au moins 2 véhicules immatriculés et assurés en France métropolitaine, dans les départements d'outre-mer ou sur le territoire de la principauté de Monaco.

Le mécanisme de la convention prévoit que l'assureur du véhicule soit mandaté par le conducteur et ses passagers à raison d'un mandat par victime. Dans un premier temps, les victimes de chacun des véhicules impliqués dans l'accident sont indemnisées directement par l'assureur du véhicule dans

lequel ils se trouvaient. Les recours entre les différents assureurs s'effectuent dans un second temps sur la base des modalités de recours adoptées dans la convention IRCA.

La convention IRCA n'est pas imposée par la réglementation. C'est un accord inter-compagnies. Elle permet d'indemniser rapidement les victimes sur la base d'une grille commune calibrée sur un nombre important de sinistres. Elle est revue annuellement par les représentants de la profession (FFSA, GEMA).

Le barème officiel IRCA fixe les seuils planchers et plafonds d'indemnisation en fonction du taux de DFP (cf. annexe 2):

- DFP de 0% : utilisation d'un forfait de base de 1518€ (barème 2014),
- DFP compris entre 0% et 5%²³ : application du barème officiel IRCA. (cf. annexe 2) tenant compte :
 - des souffrances endurées
 - du préjudice esthétique permanent
 - du déficit fonctionnel permanent
- DFP supérieur à 5% : évaluation au coût réel selon les indemnités déjà réglées ou à régler, uniquement si le recours exercé est certain, c'est-à-dire dès lors que la compagnie adverse ne dénie pas sa garantie et accepte la prise en charge du sinistre.

2.1.5 L'indemnisation sous forme de rentes

Avantages de l'indemnisation sous forme de rentes :

Suite à un dommage corporel lié à la circulation, l'indemnisation sous forme de capital ou de rente dépend de :

- l'orientation de la politique de gestion des sinistres appliquée par l'assureur : dans le cas d'une transaction amiable, l'assureur a la possibilité d'orienter les modalités de versement de l'indemnité.
- la décision du juge : quand l'indemnisation est portée devant un tribunal, la décision appartient au juge.
- l'état de santé de la victime : selon la gravité de l'état de santé de la victime et l'aspect viager et durable des préjudices
- l'âge de la victime
- les conditions sociales de la victime : mariée, avec ou sans enfants...
- la jurisprudence : la pratique des juges est de protéger la partie faible à savoir les victimes. Il en est de même des avocats qui ont tendance à élargir le champ des préjudices à prendre en compte.

L'indemnisation sous forme de capital présente l'avantage de rentrer dans la succession lors du décès de la victime. Par ailleurs, le capital n'est pas assujéti à l'impôt. Pour l'assureur, cette forme d'indemnisation a l'avantage d'une gestion rapide des sinistres.

Dans la pratique, le capital est souvent mal géré par la victime ou sa famille. Le capital n'est pas utilisé à des fins prévues et les frais sont mal anticipés. La victime s'expose à ne plus pouvoir couvrir ses frais futurs et la transaction étant définitive, la victime n'a alors aucun recours. Par ailleurs, le capital subit l'augmentation du coût de la vie et s'érode.

L'indemnisation sous forme de rente présente l'avantage de garantir à la victime un revenu régulier permettant de faire face à des frais étalés dans le temps. La rente servie est protégée contre l'inflation par les revalorisations de rentes indexées sur le taux d'inflation de la Sécurité Sociale.

²³ Pratiques d'évaluation de Pacifica :

- Pacifica assureur mandaté : utilisation de la moyenne des tranches IRCA pour l'indemnisation de la victime
- Pacifica assureur RC : En attente des recours et par prudence, l'évaluation est basée sur le plafond IRCA,

L'aggravation de l'état de santé de la victime ou l'aggravation économique liée à des évolutions financières extérieures pourrait conduire à une révision à la hausse du montant de la rente. Inversement pour respecter le principe de réparation du préjudice sans enrichissement de l'assuré, l'amélioration de l'état de santé de la victime devrait conduire à une adaptation à la baisse du montant de la rente.

La rente est donc la forme la plus souple qui permet d'appliquer le principe de proportionnalité et de préserver l'intérêt de la victime. Cependant, contrairement à l'indemnisation sous forme de capital, la rente reste soumise à l'impôt sur le revenu.

Détermination du montant de la rente :

Les principaux postes de préjudices qui rentrent dans l'évaluation du capital constitutif des rentes sont (cf. annexe 1) :

- Assistance par tierce personne (ATP),
- Pertes de gains professionnels futures (PGPF)
- Dépenses de santé futures (DSF) ;

Provisionnement des sinistres susceptibles de sortir sous forme de rentes :

Pour les dossiers réglés sous forme de rentes, le processus de provisionnement dossiers-dossiers comprend quatre étapes :

- choix d'un taux d'escompte technique qui sera utilisé tout au long de la vie du sinistre par le gestionnaire
- calcul du capital constitutif, puis des provisions mathématiques de rentes
- suivi des dossiers (examen médical, certificats de vie, transmission des échéanciers, etc.) et versement des arrérages
- revalorisation des rentes et récupération auprès du FGAO pour les sinistres de survenance antérieure à 2013

Pour les dossiers susceptibles de sortir sous forme de rentes, le provisionnement comptable transforme le capital constitutif de rentes en provisions mathématiques en tenant compte :

- du risque de taux : provision des dossiers au taux réglementaire en vigueur à la date d'arrêt
- des revalorisations futures des rentes : provisions pour les dossiers dont la date de survenance intervient à partir de 2013

2.1.6 L'indexation des rentes

Principe d'indexation

Le principe d'une indexation des rentes allouées aux victimes de la circulation a été instauré par la Loi de 24 mai 1951 portant majoration de certaines rentes viagères et pensions. Par la loi du 27 décembre 1974, complétée par la loi du 5 juillet 1985, le mécanisme a été défini spécifiquement pour les victimes d'accidents de la circulation causés par un véhicule à moteur :

« sont majorées de plein droit, selon les coefficients de revalorisation prévus à l'article L. 455 du code de la sécurité sociale, les rentes allouées soit conventionnellement, soit judiciairement, en réparation du préjudice causé, du fait d'un accident de la circulation, à la victime ou, en cas de décès, aux personnes qui étaient à sa charge. »²⁴

L'indexation de rentes automobile s'effectue selon le taux de majoration annuelle des rentes accidents du travail (article L434-17 du Code de la Sécurité Sociale), communiqué par le Ministère de

²⁴ L'article 1er de la loi de 1974

l'Economie. Les coefficients appliqués sont ceux des pensions de vieillesse de l'article L. 161-23-1 du code de la Sécurité Sociale et sont indexées sur l'indice des prix à la consommation :

«Le coefficient annuel de revalorisation des pensions de vieillesse servies par le régime général et les régimes alignés sur lui est fixé, au 1er avril de chaque année, conformément à l'évolution prévisionnelle en moyenne annuelle des prix à la consommation hors tabac prévue, pour l'année considérée, par une commission dont la composition et les modalités d'organisation sont fixées par décret ».

Les revalorisations des rentes ont été initialement gérées par un fonds dont l'Etat a été le principal contributeur. En 1974, un fonds dédié²⁵ a été créé, appelé Fonds de majoration des rentes. A partir de 1991, les majorations sont transférées directement au budget de l'Etat.

Enfin, en 2003, la loi de sécurité financière a transféré cette charge au FGAO sans contrepartie de financement. La FGAO est créé initialement pour indemniser les victimes des dommages résultant d'atteinte à la personne nés d'un accident de la circulation survenu en France, lorsque le responsable des dommages n'est pas identifié, n'est pas assuré ou insolvable.

Le coût de l'indexation et son évolution:

En 2012, le stock de rentes gérées par le FGAO s'élevé à 9 000 dossiers pour un montant annuel moyen de base de 30K€ par rente. Au titre d'un seul exercice (2012), le FGAO a versé 40M€ pour la revalorisation de l'inflation des rentes, soit en moyenne 4,4k€ par rente. Les sinistres originaires de ces dossiers chiffrent généralement en millions d'euros car ils causent des préjudices corporels lourds. Depuis 2007, l'indemnisation sous forme de rentes (50% dossiers en 2012 versus 20 % en 2002) est privilégiée dans l'intérêt des victimes, qui ont souvent besoin de l'assistance d'une tierce personne pour les tâches de la vie courante.

Comme le montre le graphique ci-dessous, le taux de revalorisation des rentes sur la période récente varient entre 0% et 3%²⁶ :

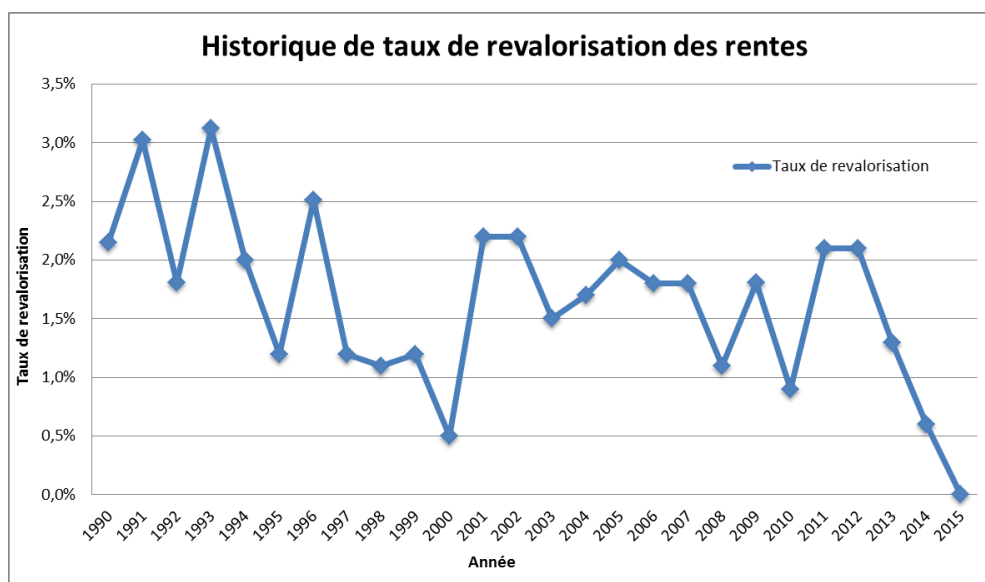


Figure 2.2 : Taux de revalorisation des rentes depuis 1990

²⁵ Financé par une part de la cotisation « responsabilité civile automobile»

²⁶ Les taux sont annualisés pour les exercices 1990-1992, 1995 et 2008.

²⁶ Les taux appliqués en moyen au premier janvier pour les exercices de 1990-2008 et au premier avril pour les exercices de 2009 à 2015.

2.2 Les données du Marché

Dans cette partie nous présenterons les dernières publications disponibles de la FFSA/GEMA²⁷ sur l'indemnisation des sinistres corporels. Ces données seront réutilisées dans la suite du mémoire.

2.2.1 Les sinistres de responsabilité civile corporels du marché français :

Fréquence et charge sinistres²⁸

A fin 2013, la fréquence RCC s'élève à 3,5‰, soit une baisse de 2,4% par rapport à 2012. Globalement, sur les dix dernières années, la fréquence est sur une tendance à la baisse (cf. tableau ci-dessous). Concernant la charge sinistres (vue au premier inventaire), elle avoisine les 4,87Md€ en 2013, soit +10,4% par rapport à 2012. Cette charge peut varier considérablement en fonction des conditions de liquidation des provisions (vus à leur liquidation en 10^{ème} année par exemple). Les liquidations dépendent des boni-mali enregistrés et des sinistres tardifs.

Année	Fréquence (‰)	Variation (en %)	Charge des sinistres en Mds €	Variation (en %)
2004	4,6	-3,3	4,06	+ 3,5
2005	4,5	-2,8	4,31	+ 6,1
2006	4,3	-5,4	4,38	+ 1,6
2007	4,2	-2,3	4,38	+ 0,0
2008	3,9	-5,0	4,4	+ 0,5
2009	3,9	-1,0	4,35	-1,2
2010	3,8	-2,0	4,3	-1,1
2011	3,7	-3,8	4,47	+ 3,9
2012	3,6	-2,3	4,41	-1,3
2013	3,5	-2,4	4,87	+ 10,4

Tableau 2.1 : Evolution de la fréquence et de la charge sinistres RCC depuis 2004

Caractéristiques de la sinistralité et des victimes

En 2013, le nombre des blessés légers représente plus des deux tiers des sinistres corporels (71 %) avec une charge sinistres qui ne dépasse pas les 5 % de l'ensemble. A l'inverse, les blessés les plus graves (dont le taux d'AIPP est supérieur à 19 %) ne représentent que 2 % des cas (soit environ 1500 cas par an) pour 58 % de la charge des indemnités versées. Le nombre des décès reste limité (1%) avec une part de 6% de la charge globale.

	Répartition en nombre	Répartition en montant
Blessés légers sans AIPP	71%	5%
Blessés avec AIPP	28%	89%
dont : 1 à 5%	18%	9%
6 à 19%	8%	22%
20% et plus	2%	58%
Décès	1%	6%
Ensemble	100%	100%

Tableau 2.2 : Répartition des victimes selon la gravité en 2013 (source AFA)

Malgré leur faible volumétrie, les sinistres avec un taux d'AIPP>20% influencent largement les résultats de la garantie. Ce constat est pratiquement stable dans le temps²⁹. En effet, les sinistres avec un taux d'AIPP≥20% correspondant à des dommages corporels importants nécessitant des soins et un accompagnement de la victime jusqu'à son décès.

²⁷ Etude Assurance Automobile " les sinistres corporels en 2013 ", AFA, juin 2015

²⁸ En 2013, le stock de provisions sinistres bruts de recours s'élève à 26 Md€. 38 % de ces provisions de sinistres corporels sont affectés à des sinistres survenus au moins cinq ans auparavant. Les provisions de sinistres corporels représentent plus des trois quarts du stock de provisions des sinistres automobiles, tous exercices de survenance

²⁹ Cf. annexe n°3 Répartition des victimes selon la gravité en 2011

L'âge moyen des victimes est de 37 ans pour les blessés légers, 43 ans pour les blessés avec AIPP et de 49 ans pour les décès. Plus de la moitié des blessés est constituée d'hommes, alors que 63% des décès concernent des femmes. Ces âges moyens sont quasiment stables par rapport à 2011.

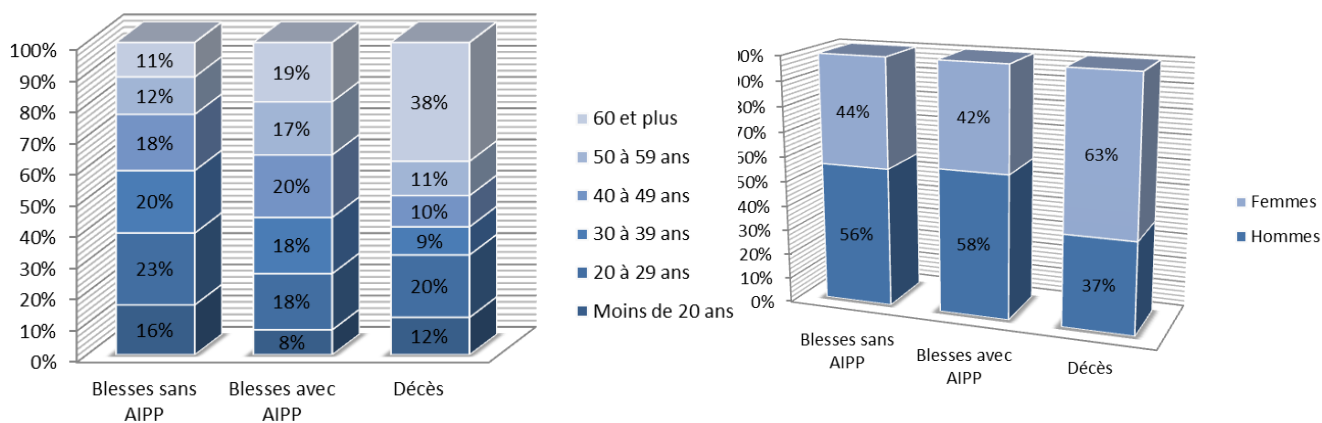


Figure 2.3 : Répartition des victimes par gravité selon l'âge et le genre en 2013 (source AFA)

Indemnités versées et postes de préjudices

En 2013, l'indemnité totale moyenne se situe aux alentours de 22 000 euros, dont 103 000 euros pour une victime décédée, 7 000 euros pour un blessé avec AIPP et environ 1 500 euros pour un blessé léger sans AIPP.

Le graphique ci-dessous donne le poids des principaux postes de préjudices dans l'indemnité totale :

Trois postes de préjudices représentent à peu près 50% de l'indemnité totale : les dépenses de santé (22,4%), le déficit fonctionnel permanent (16%) et l'assistance tierce personne (15%). A noter que les postes de préjudices impactant le coût des rentes représentent 27% de l'indemnité globale, dont 15% pour la tierce personne, 9% pour les pertes de gains professionnels et 3% pour les dépenses de santé futures.

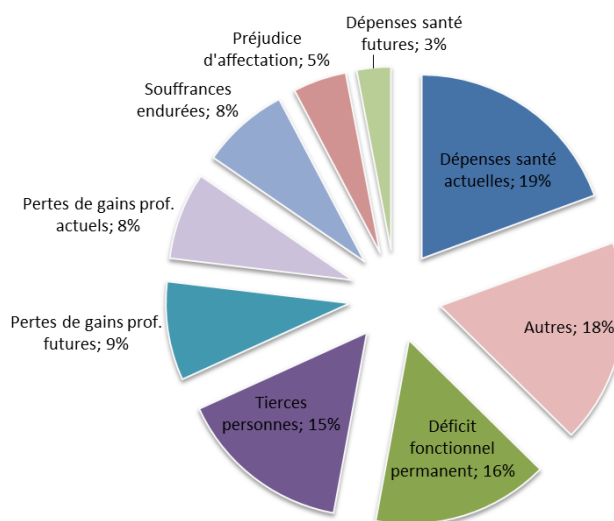


Figure 2.4 - Répartition de l'indemnité totale en fonction des principaux postes de préjudice (source AFA)

Conditions d'indemnisation

Au titre de l'exercice 2013, la plupart des dossiers est réglée par voie amiable. Ainsi le taux de transaction s'élève à 99,8 % pour les blessés sans AIPP, 96,7 % pour des blessés avec AIPP et 76,7% pour les décès. Généralement, la gestion d'un dossier par un tribunal dépend de la gravité des

dommages; ainsi 27% des sinistres avec un taux d'AIPP supérieur ou égale à 50% sont gérés par voie judiciaire.

En 2013, les indemnités des blessés légers sont en moyenne réglées en 10 mois à compter de l'accident. L'indemnisation d'un blessé avec AIPP se règle en moyenne en 21 mois pour les transactions (dont un délai de 10 mois de période de consolidation) et 5 ans pour les dossiers réglés par voie judiciaire (dont un délai de 1,5 an de période de consolidation). La durée de règlement dépend de la gravité et du mode de règlement (transaction/décision judiciaire).

2.2.2 Les sinistres graves de responsabilité civile corporels

Dans cette sous-partie, nous représentons les données du marché relatives aux sinistres graves qui seront utilisées dans la suite du mémoire. La représentativité des données s'élève à 83% du marché national.

Triangle de liquidation des sinistres corporels graves supérieurs à 500k€ :

Les tableaux ci-dessous, donnent la liquidation des sinistres graves avec un montant supérieur à 500k€ (nombre et montant). Les données sont tronquées par l'exclusion des évaluations intégrant la charge de la revalorisation des rentes³⁰ :

Année de survenance	Fin de 1 ^{ère} année	Fin de 2 ^{ème} année	Fin de 3 ^{ème} année	Fin de 4 ^{ème} année	Fin de 5 ^{ème} année	Fin de 6 ^{ème} année	Fin de 7 ^{ème} année
2004	524	808	869	902	889	881	813
2005	545	833	913	920	899	846	827
2006	503	793	867	879	865	888	874
2007	524	736	777	782	844	826	761
2008	566	787	866	936	936	894	
2009	547	835	946	958	928		
2010	548	838	947	947			
2011	668	995	1012				
2012	654	858					
2013	555						

Tableau 2.3 : Nombre de sinistres

Année de survenance	Fin de 1 ^{ère} année	Fin de 2 ^{ème} année	Fin de 3 ^{ème} année	Fin de 4 ^{ème} année	Fin de 5 ^{ème} année	Fin de 6 ^{ème} année	Fin de 7 ^{ème} année
2004	845	1296	1389	1425	1392	1375	1291
2005	893	1322	1382	1382	1367	1278	1274
2006	831	1226	1291	1325	1363	1425	1415
2007	865	1152	1244	1221	1363	1339	1266
2008	932	1252	1339	1423	1476	1403	
2009	824	1299	1454	1458	1372		
2010	920	1417	1570	1514			
2011	993	1527	1532				
2012	1054	1369					
2013	1053						

En millions d'euros

Tableau 2.4 : Montant de la charge de sinistres

³⁰ Pour assurer la fiabilité de l'estimation de charge ultime, les méthodes de provisionnement doivent être appliquées sur des bases stables dans le temps.

Au titre de l'exercice 2004, 524 sinistres graves ont été enregistrés la première année pour une charge globale de 845 millions d'euros vue au premier inventaire. Vue à fin 2013 (soit après 7 ans), le nombre de survenances au titre du même exercice s'élève à 813 pour un montant global de 1 291 millions d'euros (effet sinistres tardifs et boni/mali sur provisions)

Indemnisation des sinistres avec un taux AIPP supérieur à 50% :

En 2013, l'indemnité moyenne des sinistres corporels automobile avec un taux d'AIPP supérieur à 50% est de 1,54 millions d'euros avec une évolution annuelle moyenne de +6% par an. Le tableau suivant donne le coût moyen et son évolution par tranche de gravité :

	Coût moyen 2013	Variation moyenne annuelle	
		Sur les 5 ans (2008-2013)	Sur les 10 ans (2003-2013)
Cas d'AIPP ≥ 50%	1 535 900 €	+6%	+6%
dont 50 à 59 % d'AIPP	669 100 €	+5%	+9%
dont 60 à 79 % d'AIPP	1 234 200 €	+6%	+8%
dont 80 % d'AIPP et plus	2 936 500 €	+6%	+8%

Tableau 2.5 : Coût moyen en 2013 des sinistres corporels automobile avec un taux d'AIPP supérieur à 50%

L'analyse de l'indemnité moyenne par poste de préjudice, démontre l'importance du poste assistance par tierce personne qui constitue le tiers du coût total. Le poids de ce poste est croissant en fonction de la gravité.

	Taux d'AIPP				Variation moyenne annuelle	
	50% à 59%	60% à 79%	80% et +	50% et +	Sur les 5 ans (2008-2013)	Sur les 10 ans (2003-2013)
Coût total	669 100 €	1 234 200 €	2 936 500 €	1 535 900 €	+6%	+8%
Dépenses de santé actuelles et futures	144 400 €	201 000 €	582 000 €	288 500 €	+4%	+5%
Préjudices professionnels	124 700 €	233 900 €	250 900 €	207 400 €	+8%	+17%
Déficit fonctionnel permanent	132 100 €	205 100 €	318 900 €	215 200 €	+3%	+2%
Préjudices personnels	38 400 €	55 900 €	79 400 €	57 300 €	-1%	+1%
Assistance par tierce personne	124 000 €	355 200 €	1 292 100 €	544 000 €	+8%	+10%
Autres indemnités	105 500 €	183 100 €	413 200 €	223 500 €	+8%	+17%

Tableau 2.6 : Coût moyen en 2013 des sinistres corporels automobile avec un taux d'AIPP supérieur à 50% par poste de préjudices

Globalement, plus le niveau de gravité est important, plus le coût de l'accompagnement de la victime jusqu'à son décès est important. Ainsi, les coûts futurs (dépenses de santé futures, perte de revenus futurs et assistance par tierce personne) constituent un poids important dans l'indemnité globale.

Les postes de préjudices retenus dans le calcul du capital constitutif des rentes représentent 54% de l'indemnité globale des sinistres avec un taux d'AIPP supérieur à 50%, dont 36% pour la tierce personne, 11% pour les pertes de gains professionnels futures et 7% pour les dépenses de santé futures (cf. annexe 4 : Poids des différents préjudices indemnisés). Sur la période récente (2008-2013), on constate une hyperinflation de ces postes (cf. tableau ci-dessous) par rapport à l'indice des salaires qui a progressé de 2,1% par an et l'indice des prix qui n'est que de 1,2% par an sur la même période.

2.3 Synthèse

- L'indemnisation des victimes de la circulation est un processus standardisé, régie par un cadre réglementaire et des pratiques de marché.
- L'indemnisation sous forme de rente est de plus en plus privilégiée pour les sinistres corporels graves.
- Sur la période récente, on observe une amélioration de la fréquence et une dégradation de la charge sinistres RCC.
- En 2013, l'indemnité moyenne des sinistres corporels automobile avec un taux d'AIPP supérieur à 50% est de 1,54 millions d'euros avec une évolution annuelle moyenne de +6% par an.
- Les postes de préjudices retenus dans le calcul du capital constitutif des rentes représentent 53% de l'indemnité globale des sinistres corporels avec un taux d'AIPP supérieur à 50%,

3. L'enjeu financier de l'indexation des rentes

3.1 Les mécanismes de la rente

3.1.1 Définition de la rente

Une rente est le versement périodique pendant une durée donnée d'une somme d'argent prédéfinie, appelée arrérage. La rente peut être viagère (servie jusqu'au décès) ou temporaire, annuelle ou fractionnée sur l'année. Le versement des arrérages peut être à terme à échoir (payable au début de période) ou à terme échu (payable en fin de période). L'entrée en service de la rente peut être immédiate ou différée (décalée de n années).

Dans ce qui suit, on retient une rente viagère, immédiate, annuelle et à terme échu.

Le Capital Constitutif de Rente (CCR) correspond à la somme d'argent nécessaire à la date d'attribution de la rente pour payer la rente jusqu'à extinction de celle-ci, en tenant compte de l'espérance de vie des rentiers et des intérêts financiers.

3.1.2 Taux technique et table de mortalité

Après l'entrée en service de la rente, le CCR diminue progressivement en fonction des montants versés, mais il augmente aussi des produits financiers dégagés par le placement de ce capital. Le taux technique correspond au taux des produits financiers futurs déjà anticipés pour le placement du CCR.

Le taux technique correspond donc au taux de capitalisation des flux futurs et majore alors le montant de la première rente sous forme d'un précompte. Cela signifie que le montant de la première rente inclut déjà la valorisation totale de $i\%$ sur toute la durée de versement.

Le capital constitutif d'une rente viagère à terme échu de 1€ est donné par la formule suivante :

$$CCR(i) = VAP(1 \text{ euro de rente avec un taux } i) = \frac{l_{x+1}}{l_x} * \frac{1}{(1+i)^1} + \frac{l_{x+2}}{l_x} * \frac{1}{(1+i)^2} + \frac{l_{x+3}}{l_x} * \frac{1}{(1+i)^3} + \dots + \frac{l_w}{l_x} * \frac{1}{(1+i)^{w-x}} = \sum_{j=1}^{w-x} \frac{l_{x+j}}{l_x} * \frac{1}{(1+i)^j} = a_x$$

Avec :

- x : âge du bénéficiaire,
- l_x : nombre de survivant à l'âge x dans la table de mortalité
- i : taux d'intérêt technique. Correspond au taux de rémunération du capital,
- w : âge limite

Le rapport l_{x+k} / l_x correspond à la probabilité de survivre k an(s) à l'âge x . Elle se calcule à partir de la table de mortalité qui donne les probabilités de décès et de survie prévisionnels à chaque âge.

Exemples :

- dans la table TD88/90, on a $l_{65} = 74.720$ et $l_{70} = 65.649$; cela donne, pour 65 ans, une probabilité de 88% de vivre au moins 5 ans.
- dans la table TH 00-02 M, on a $l_{65} = 79.929$ et $l_{70} = 72.019$; cela donne, pour un homme de 65 ans, une probabilité de 90% de vivre au moins 5 ans.
- dans la table TF00-02, on a $l_{65} = 90.801$ et $l_{70} = 87.018$; cela donne, pour une femme de 65 ans, une probabilité de 96% de vivre au moins 5 ans.

Les tables TH 00-02 et TF 00-02 illustrent le rallongement de l'espérance de vie liée aux progrès médicaux.

Pour calculer la rente annuelle, il faut ensuite diviser le capital apporté par le coefficient ax. En pratique, on calcule un taux de conversion égal à $1/ax$ qui est exprimé en pourcentage, puis, on calcule la rente annuelle en multipliant le capital apporté ou le CCR par ce taux de conversion ($R=CCR/ax$).

Pour respecter le principe de prudence, les rentes doivent être provisionnées selon le Code des Assurances, sur la base maximum (60% TME ; 3,5%)³¹. L'évolution à la baisse du TME est un facteur qui contribue à l'augmentation de la charge sinistre, dans la mesure où plus le taux de rendement du capital constitué est faible, plus la provision technique est importante (écart par rapport à l'engagement initial de taux).

Le graphique suivant présente l'évolution du coefficient viager à l'âge de 40 ans en fonction du taux technique :

TD 88/90 annuelle échue

Taux i	$a_{40}(i)$	Δa_{40} en %
1,50%	26,21	-
1,60%	25,76	-1,73%
1,70%	25,31	-1,72%
1,80%	24,88	-1,70%
1,90%	24,46	-1,69%
2,00%	24,06	-1,67%
2,10%	23,66	-1,66%
2,20%	23,27	-1,64%
2,30%	22,89	-1,63%
2,40%	22,52	-1,61%
2,50%	22,16	-1,60%
2,60%	21,81	-1,58%
2,70%	21,47	-1,57%
2,80%	21,14	-1,55%
2,90%	20,81	-1,54%
3,00%	20,49	-1,53%
3,10%	20,18	-1,51%
3,20%	19,88	-1,50%
3,30%	19,59	-1,48%
3,40%	19,30	-1,47%
3,50%	19,02	-1,46%

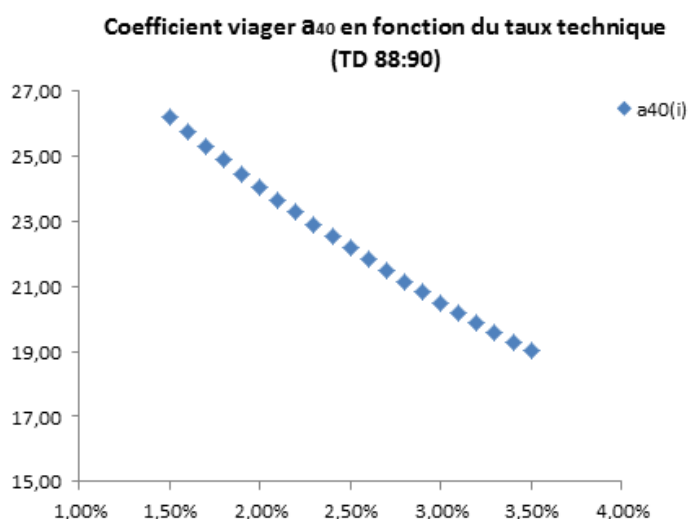


Figure 3.1 : Coefficient viager à l'âge de 40 ans en fonction du taux technique

L'impact du taux technique sur le coefficient viager est plus important pour les jeunes victimes en raison de l'effet multiplicateur du taux d'escompte :

x / i	1,50%	2%	2,50%	3,00%	3,50%	$a_x(1,5\%)-a_x(3,5\%)$	$\Delta a_x(i) / a_x(i_0)$
10	39,7	34,8	30,8	27,4	24,7	15,1	38%
20	35,7	31,7	28,4	25,6	23,2	12,4	35%
30	31,2	28,2	25,6	23,4	21,4	9,8	31%
40	26,2	24,1	22,2	20,5	19,0	7,2	27%
50	20,8	19,4	18,1	17,0	16,0	4,8	23%

Tableau 3.1 : Coefficient viager $a_x(i)$ en fonction de l'âge et du taux technique

³¹ Cf. Annexe n°4 : Article 331-10 code des assurances

A ce stade de l'analyse, deux facteurs interviennent sur l'évolution de la charge sinistre des rentes: l'impact de la mortalité réelle des crédentaires (par rapport à la mortalité prévue dans la table) et le rendement effectif des placements financiers (par rapport au taux technique).

3.1.3 Indexation de la rente

Pour conserver le pouvoir d'achat d'une rente, la rente peut être revue annuellement. On parle alors de rente indexée. L'arrérage indexé est déterminé à chaque échéance en fonction des variations constatées de l'indice de référence.

L'indexation des rentes automobile s'effectue selon le taux de majoration annuelle des rentes accidents du travail (article L434-17 du Code de la Sécurité Sociale), communiqué par le Ministère de l'Economie. A titre indicatif, ces dernières années, les majorations légales de rentes se situent autour de 1 % par an.

L'indexation d'une rente n'est pas calculée au niveau de CCR. En effet, il est impossible de prendre en compte l'indexation d'une manière exacte, dans la mesure où l'indice de référence choisi n'est connu qu'à l'attribution, et ses variations sont également inconnues. Néanmoins, on peut tenter d'estimer l'inflation future.

Certains assureurs prennent en compte l'indexation des rentes en jouant sur le taux technique égal ou proche de 0%. Cela revient à considérer que les intérêts financiers compensent l'indexation des rentes.

La valeur actuelle probable d'un 1€ de rente revalorisée à un taux fixe i' est calculée comme suit:

$$CCR'(i, i') = VAP(1 \text{ euro de rente revalorisée au taux } i')$$

$$= \frac{l_{x+1}}{l_x} * \frac{1}{(1+i)^1} + \frac{l_{x+2}}{l_x} * \frac{(1+i')^1}{(1+i)^2} + \frac{l_{x+3}}{l_x} * \frac{(1+i')^2}{(1+i)^3} + \dots + \frac{l_w}{l_x} * \frac{(1+i')^{w-x-1}}{(1+i)^{w-x}}$$

en notant $i'' = \frac{(1+i)}{(1+i')} - 1$, le CCR' devient :

$$CCR'(i, i') = VAP(1 \text{ euro de rente revalorisée } i') =$$

$$= \left(\frac{1}{(1+i')} * \left(\frac{l_{x+1}}{l_x} * \frac{1}{(1+i'')^1} + \frac{l_{x+2}}{l_x} * \frac{1}{(1+i'')^2} + \frac{l_{x+3}}{l_x} * \frac{1}{(1+i'')^3} + \dots + \frac{l_w}{l_x} * \frac{1}{(1+i'')^{w-x}} \right) \right) =$$

$$\sum_{j=1}^{w-x} \frac{l_{x+j}}{l_x} * \frac{1}{(1+i'')^j} = \dot{a}_x$$

L'utilisation du taux i'' dans le calcul du CCR' revient alors à intégrer dans le calcul une indexation future des arrérages de i'' %.

Supposant que le taux d'inflation s'élève à 2% annuellement et que le taux d'escompte est fixé à 3,5%, cela revient à utiliser indirectement le taux d'escompte de 1,47% $((1+3,5\%/1+2\%)-1)$

3.1.4 Révision de la rente

Les rentes versées aux victimes de la circulation sont en principe viagères. Après la consolidation du sinistre, un complément de rentes peut être décidé par un juge ou convenu par transaction, notamment, en cas d'évolution défavorable de l'état de santé de la victime. La procédure de révision de rente intervient à la demande du bénéficiaire et suite à un contrôle médical qui constate le changement du taux d'incapacité.

Dans la législation française, les rentes RCC ne sont pas révisées à la baisse en cas d'amélioration de l'état de santé de la victime. A l'inverse, en cas de détérioration, les arrérages peuvent être revus à la hausse pour faire face à une augmentation des besoins de la victime.

Reprenant le calcul du CCR', la valeur actuelle probable d'un 1€ de rente (revalorisée à un taux fixe i') révisée après 10 ans est calculé comme suit:

$$\begin{aligned} CCR''(i, i', r) &= VAP(1 \text{ euro de rente revalorisée et révisé après 10 ans}) = \\ &= \left[\left(\frac{1}{(1+i')} * \left(\frac{l_{x+1}}{l_x} * \frac{1}{(1+i'')^1} + \frac{l_{x+2}}{l_x} * \frac{1}{(1+i'')^2} + \frac{l_{x+3}}{l_x} * \frac{1}{(1+i'')^3} + \dots + \frac{l_{x+10}}{l_x} * \frac{1}{(1+i'')^{10}} \right) \right) \right] + \\ &\quad \left[\left(\frac{1+r}{(1+i')} * \left(\frac{l_{x+11}}{l_{x+10}} * \frac{1}{(1+i'')^{11}} + \frac{l_{x+12}}{l_{x+10}} * \frac{1}{(1+i'')^{12}} + \frac{l_{x+13}}{l_{x+10}} * \frac{1}{(1+i'')^{13}} + \dots + \frac{l_w}{l_{x+10}} * \frac{1}{(1+i'')^{w-x-10}} \right) \right) \right] \\ &= \sum_{j=1}^{10} \frac{l_{x+j}}{l_x} * \frac{1}{(1+i'')^j} + (1+r) \sum_{j=1}^{w-10-x} \frac{l_{x+10+j}}{l_{x+10}} * \frac{1}{(1+i'')^j} = {}_{10}a'_x + (1+r)a'_{x+10} \end{aligned}$$

Avec r taux de révision après 10 ans.

3.2 Estimation du coût de l'indexation pour le marché Français³²

Dans cette partie, nous estimons l'enjeu de l'indexation des rentes pour le marché Français, puis nous réaliserons une approximation de cet impact pour une entreprise donnée.

Comme vu précédemment, les paramètres à retenir sont les suivants:

- Nombre de rentiers
- Capital constitutif de rente
- Table de mortalité (rapport Mendel)
- Taux d'escompte noté i
- Taux de revalorisation des rentes noté i'
- Taux de révision

3.2.1 Hypothèses de l'estimation

Nombre de rentiers

Il est très difficile de modéliser le nombre de rentiers sur une population de victimes de la circulation. Cette variable dépend de plusieurs critères subjectifs comme la politique d'indemnisation de l'assureur, le choix de la victime ou encore les décisions judiciaires.

La complexité du paramètre nous conduit à retenir l'hypothèse qu'un sinistre corporel est assorti d'une rente dès lors que le taux d'AIPP est supérieur ou égal à 50%.

Table de mortalité

Conformément au code des assurances, la plupart des réassureurs utilise la table TD88-90 pour évaluer et provisionner le coût des rentes à verser aux rentiers. Cependant, compte tenu de l'allongement de l'espérance de vie et du progrès de la médecine, il est plus prudent d'utiliser les tables TH 00-02 et TF 00-02. Ces deux dernières tables prennent en compte un autre facteur qui est le sexe de la victime.

³² Périmètre FFSA/GEMA

Taux d'escompte :

Le taux d'escompte est le taux d'actualisation utilisé par la compagnie d'assurance à l'ouverture des sinistres. Ce taux est basé sur la valeur du taux moyen des emprunts d'État (TME³³) à date. En principe, les provisions techniques de rentes non-vie des assureurs sont calculées en utilisant un taux d'actualisation plafonné par une fraction du TME. Ce plafond est de 60%³⁴ de la moyenne sur les 6 derniers mois du TME.

Depuis décembre 2010, le calcul précédent est modifié en utilisant désormais un TME lissé sur 24 mois au lieu de 6 mois. Le lissage sur une période plus longue permet d'améliorer la cohérence entre les valorisations de l'actif et du passif des assureurs IARD.

Le tableau ci-dessous donne l'historique du TME et des taux techniques utilisés en assurance non vie de janvier 2014 à février 2015 :

Date	TME	Moyenne 6 mois *	Moyenne 24 mois*	Taux tech. non vie**
2015	0,97%	0,99%	1,28%	0,96%
2014	0,98%	1,30%	1,98%	1,48%
2013	2,41%	2,42%	2,42%	1,81%
2012	2,03%	2,21%	2,98%	2,23%
2011	3,23%	3,16%	3,28%	2,46%
2010	3,39%	2,97%	3,44%	2,58%
2009	3,54%	3,62%	4,00%	3,00%
2008	3,53%	4,27%	4,33%	3,25%
2007	4,41%	4,45%	4,11%	3,08%
2006	3,87%	3,91%	3,66%	2,74%
2005	3,43%	3,35%	3,81%	2,86%
2004	3,70%	4,05%	4,17%	3,13%
2003	4,36%	4,29%	4,55%	3,42%
2002	4,43%	4,65%	4,99%	3,74%
2001	5,05%	5,01%	5,25%	3,94%
2000	5,14%	5,38%	5,07%	3,81%
1999	5,34%	5,18%	4,70%	3,53%

Tableau 3.2 : Historique du taux technique non vie (vision 31/12/N)

(*) Les moyennes indiquées incluent le mois en cours. Exemple : le TME moyenne 6 mois au 31/12/N est la moyenne des TME de juillet à décembre de l'année N.

(**) A partir du 31 12 2010, le taux technique non-vie est calculé à partir du TME moyen des 24 derniers mois et non plus, comme avant, des 6 derniers mois.

Sur la période récente, on constate une baisse significative du taux d'escompte. Le taux d'escompte est généralement connu lors de la survenance d'un sinistre. Dans la suite du mémoire, on retient arbitrairement le taux fixe de 1,4%.

Taux de revalorisation des rentes :

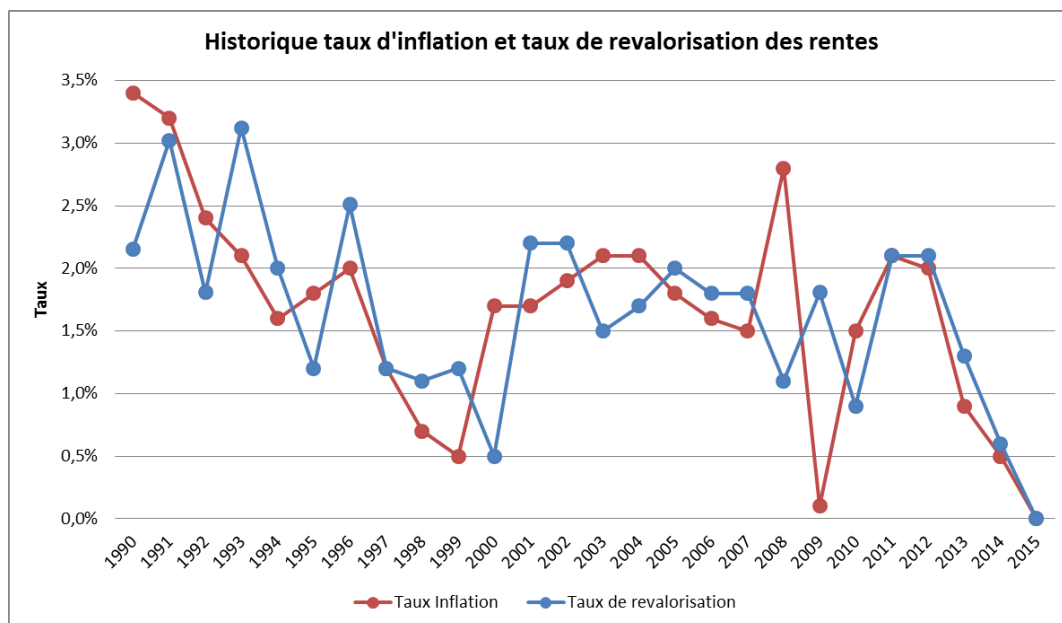
Le taux de revalorisation des rentes est indexé sur l'inflation constaté sur le marché français. L'indice des prix à la consommation (IPC) est l'instrument de mesure de l'inflation. Il donne la variation

³³ Le TME est une moyenne arithmétique des THE (Taux Hebdomadaire des Emprunts d'État) publiés chaque semaine au cours du mois correspondant, le THE étant la moyenne hebdomadaire des rendements des emprunts d'Etat de cette catégorie. Le TME est donc le taux de rendement sur le marché secondaire des emprunts d'État à taux fixe supérieurs à 7 ans.

³⁴ 75% en assurances de personnes

moyenne des prix des produits consommés par les ménages³⁵ entre deux périodes données. C'est un indicateur synthétique de l'évolution de prix à qualité constante. Il est publié chaque mois au Journal Officiel.

Ci-dessous l'historique de l'inflation (IPC hors tabac) sur les 22 dernières années³⁶ :



Figures 3.2 : Historique du taux d'inflation versus taux de revalorisation

Dans la suite du mémoire, on retiendra l'hypothèse que les taux d'inflation constatés sur les deux dernières décennies sont représentatifs des conditions financières futures. Ainsi, pour projeter les taux l'inflation futurs, on effectuera des tirages de l'inflation annuelle constatée sur la période [1993-2015].

Taux de révision :

L'article 2226 du code civil stipule que l'action en responsabilité d'une victime directe ou indirecte, pour demander la réparation de ses préjudices subis, se prescrit par un délai de dix ans à partir de la date de consolidation du dommage initial ou aggravé.

En cas de révision du taux d'IPP résultant de modifications intervenues dans l'état de santé de la victime après la consolidation, le montant de la rente peut être révisé.

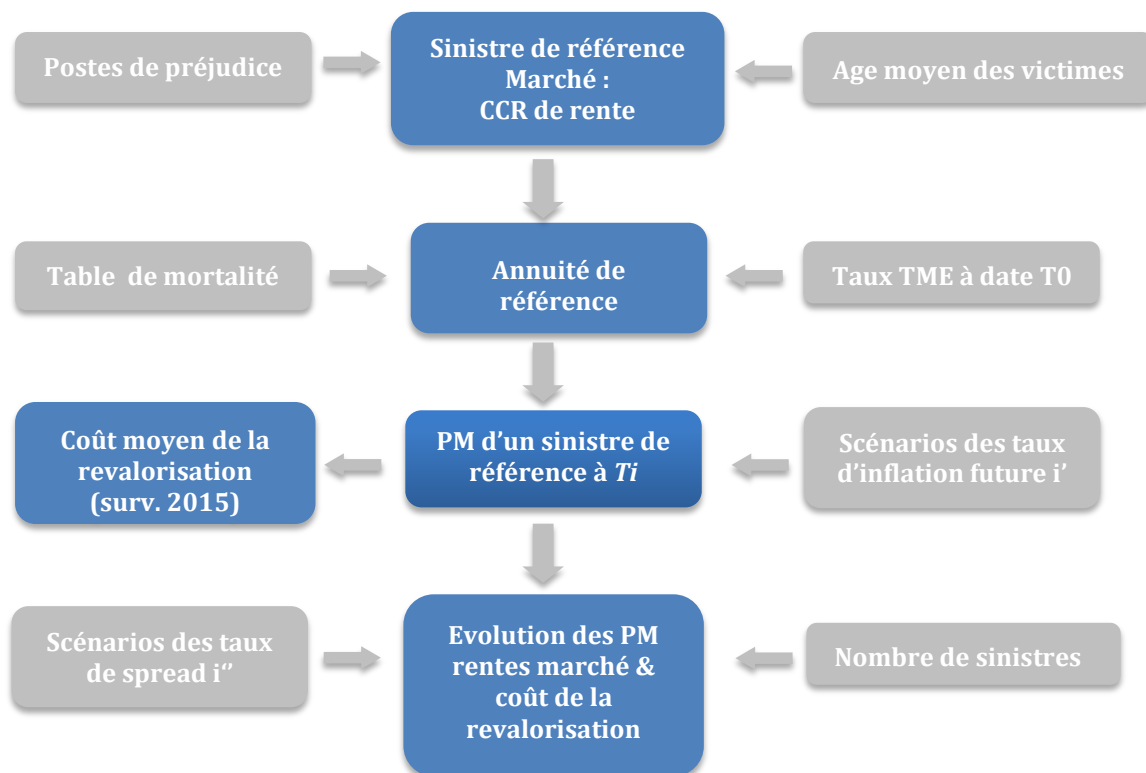
3.2.2 Modèle d'exposition du coût de la revalorisation des rentes

Pour estimer le coût de la revalorisation des rentes, on définit tout d'abord un sinistre de référence assorti d'une rente viagère et qui se caractérise par niveau de gravité, postes de préjudice et âge de référence. Ces caractéristiques nous permettent d'estimer un capital constitutif de rente pour lequel on calcule dans un premier temps le montant de l'annuité correspondante sans revalorisation. Dans un deuxième temps, on projette les flux futurs en intégrant plusieurs scénarios d'inflations. Au final, on estime la moyenne et la variabilité autour de cette moyenne du coût de l'indexation.

³⁵ A partir de janvier 1999, c'est l'indice d'ensemble des ménages de la France (métropole et DOM) qui est utilisé.

³⁶ En annexe 6 le tableau avec les valeurs numériques

Le schéma suivant illustre les grandes étapes de la modélisation :



Figures 3.3 : Etapes de la modélisation

Sinistre de référence :

Compte tenu de l'absence des statistiques sur les sinistres corporels assortis en rentes, nous retenons la définition suivante pour un sinistre de référence : **accident de la circulation engendrant des dommages corporels à un tiers dont la victime est blessé avec un taux d'AIPP supérieur ou égal à 50%**.

Les trois postes de préjudices qui justifient l'indemnisation sous forme de rentes et qui rentrent dans l'évaluation du capital constitutif de rentes sont :

- Dépenses de santé futures
- Pertes de gains professionnels futurs
- Assistance par tierce personne

En 2013, les postes de préjudices retenus dans le calcul du capital constitutif des rentes représentent 53% de l'indemnité globale des sinistres avec un taux d'AIPP supérieur à 50%, dont 36% pour la tierce personne (soit 544K€), 11% pour les pertes de gains professionnels futurs (soit 163K€) et 7% pour les dépenses de santé futures (soit 104K€). Ainsi, les assureurs ont réglé en moyenne 811k€ au titre des trois préjudices retenus.

Annuité de référence

Selon les statistiques de l'AFA et sur la même période, l'âge moyen des victimes avec un taux d'AIPP supérieur ou égal à 50% est de 42 pour les hommes et de 44 pour les femmes. Au global, l'âge moyen est de 43 ans.

D'une part le montant du CCR de référence s'élève à 811K€. D'autre part le taux technique observé est de 0,96%. Ainsi, en fonction de la table de mortalité retenue on calcule le montant de l'annuité de référence :

$$CCR = R_0 a_{x+5} \Leftrightarrow R_0 = \frac{CCR}{a_{x+5}} = \frac{811000}{23,126} = 35\,069\text{€}$$

Actualisée au taux de l'hyperinflation de 6%, cette rente s'élèverait à fin décembre 2015 à 39 403€. Cette annuité de référence sera retenue dans la suite de modélisation.

Génération des scénarios d'inflation future et distribution des rentes :

Pour simuler la revalorisation des rentes dans le futur, on retient une approche basée sur le bootstrap. L'objectif de la méthode³⁷ est d'approcher par simulation (approche Monte Carlo non paramétrique) la distribution d'un estimateur. Elle est généralement utilisée lorsqu'on ignore la loi de probabilité d'une variable. A partir d'un échantillon d'apprentissage de n observations, la distribution empirique construite donne un poids de $1/n$ à chaque réalisation. La génération d'un nombre important d'échantillons, obtenus par des tirages avec remise dans l'échantillon initial, permet donc de simuler la loi de distribution. Cette approximation fournit des estimations de la moyenne, de la variance, et même des intervalles de confiance de l'estimateur sous l'hypothèse de normalité.

Dans notre modèle, nous cherchons à estimer la moyenne et la volatilité du coût de l'indexation des rentes dans le temps. Les données historiques du taux d'inflation (cf. annexe 6) sont réutilisées directement dans le modèle pour projeter les rentes futures. Le Bootstrap est basé sur la constitution d'échantillons à partir des données observées. Ainsi, pour générer des scénarios d'inflation jusqu'à l'extinction de la rente, un échantillon de $w-x$ taux d'inflation sont tirés aléatoirement³⁸ sur les n taux d'inflation observés sur la période de référence. Ce processus est répété 10 000 fois afin de construire la distribution des rentes futures.

3.2.3 Résultat de la modélisation

Pour évaluer l'enjeu de l'indexation des rentes et de son évolution dans le temps, nous modélisons la provision mathématique (PM) d'un sinistre de référence en vision individuelle fermée et les PM marché en vision dynamique.

a- Modélisation d'un sinistre de référence (survenance 2015) :

La rente de référence et son évolution :

$$\text{Formulation: } R_t = R_0 \prod_{k=1}^t (1 + i')^k = R_0 (1 + h)^5 \prod_{k=6}^t (1 + i')^k$$

Avec h taux d'hyperinflation des coûts pendant la durée de consolidation.

Paramètres retenus :

$$R_0 = 40000\text{€}$$

$$h = 6\%$$

$$x = 43 \text{ ans}$$

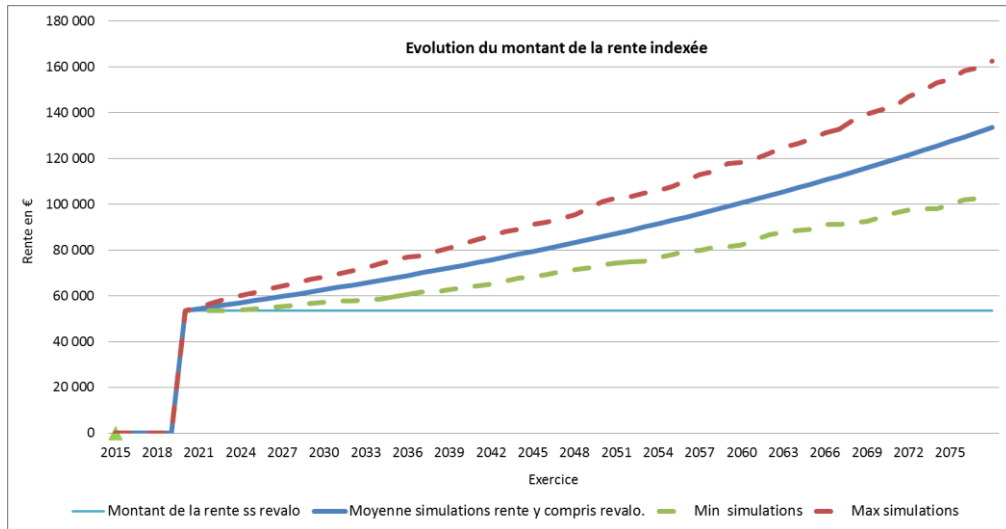
$$h = 6\%$$

$$i = 0,96\%$$

³⁷ Efron, 1982 ; Efron et Tibshirani, 1993

³⁸ Avec remise

Après une période de consolidation de 5 ans, la rente initiale estimée au premier inventaire à 40k€, s'élèvera à 54K€ au fait de l'hyperinflation des coûts. Ensuite, la rente sera revalorisée annuellement au rythme du taux d'inflation simulé :



Figures 3.4 – Evolution du montant de la rente jusqu'à l'extinction

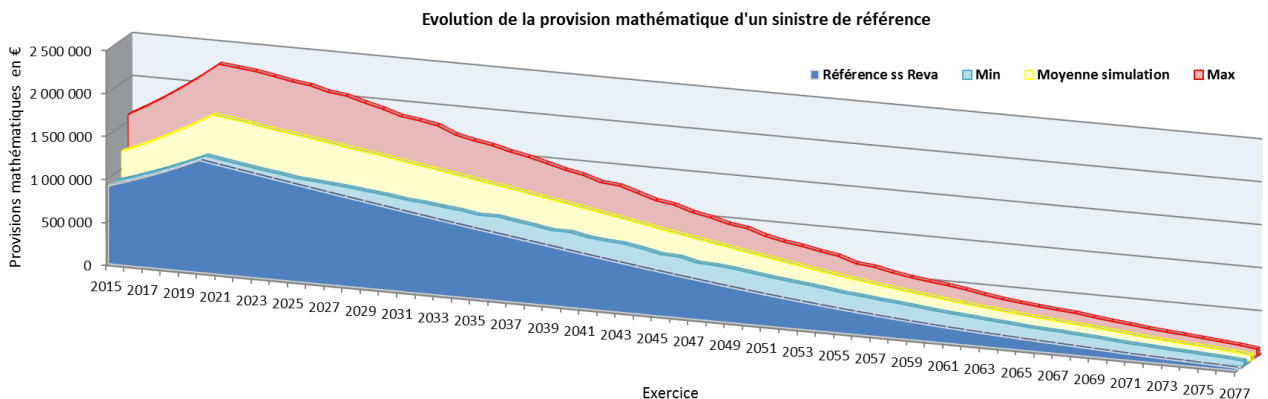
Ainsi, en moyenne des simulations, la rente serait de 55K€ à l'âge de 50 ans, de 65K€ à l'âge de 60 ans, de 87K€ à l'âge de 80 ans et de 134K€ à l'âge de 106 ans. Le montant de la rente est doublé après 31 ans, soit à l'âge de 74 ans.

La volatilité autour de la rente moyenne croît avec la durée. A l'âge de 50 ans, l'écart-type des simulations est de 592 (1,1% de la moyenne des simulations), 1702 à l'âge de 60 ans (2,6% de la moyenne), 3806 à l'âge de 80 ans (4,3% de la moyenne) et 7826 à l'âge de 106 ans. (5,9% de la moyenne).

Provisions mathématiques d'un sinistre de référence

Formulation : - pendant la période de consolidation : $PM_t = R_0(1+h)^t \frac{1}{(1+i)^t} a'_{x+5}$
 - après la période de consolidation : $PM_t = R_0(1+h)^5 a'_{x+t}$

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la provision mathématique de rente d'un sinistre de référence en variant le taux de valorisation :



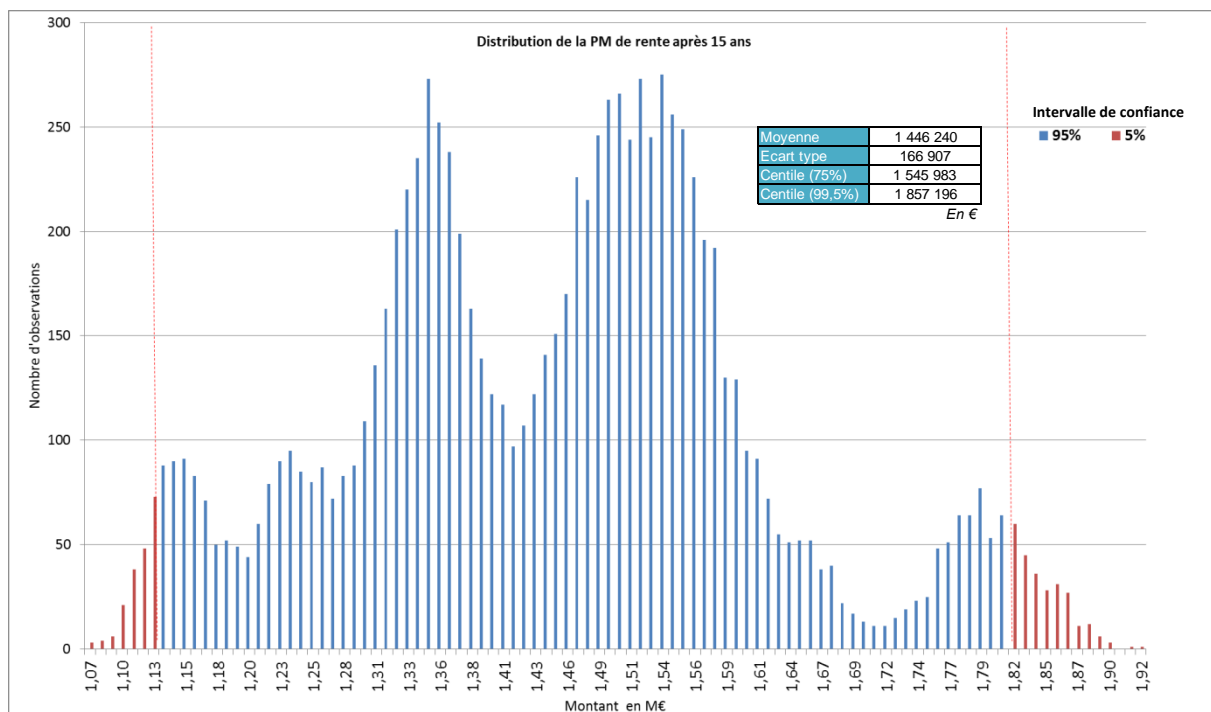
Figures 3.4 : PM de rente jusqu'à l'extinction de la victime

Sur la base de la modélisation et des hypothèses retenues, on note les remarques suivantes :

- la valeur actuelle probable de la rente progresse pendant la durée de constitution. La baisse liée à la probabilité du décès est largement contrebalancée par le coût de l'hyperinflation des premières années.
- le coût de la revalorisation, soit l'écart absolu entre la PM moyenne des simulations avec revalorisations et la PM sans revalorisation, atteint son maximum au bout de 15 ans³⁹, puis il décroît progressivement jusqu'à l'extinction de la rente. Le coût de la revalorisation croît avec la durée mais décroît avec les sorties en décès. L'effet décès l'emporte après 10 ans de l'entrée en service de la rente.
- le constat précédent nous conduit à conclure qu'un portefeuille de rentiers est mature pour couvrir l'indexation des rentes après une période de 15 ans.
- l'écart relatif entre PM avec (moyenne simulations) et sans revalorisation est croissant avec la durée. Ainsi, le coût de la revalorisation représente à peu près 24% de la moyenne des PM pendant la durée de constitution, puis il augmente progressivement avec l'âge pour atteindre 61% du coût total juste avant l'extinction de la rente.

Volatilité de la provision mathématique après 15 ans :

Le coût de la revalorisation moyen atteint son maximum au bout de 15 ans et s'élève à 441k€. Ce coût pourrait être nettement supérieur en cas d'une dérive de l'inflation. Le graphique ci-dessous, donne la distribution de la PM de rente après 15 ans:



Figures 3.5 : Distribution de la PM de rente après 16 ans

Avec un seuil de risque de 5%, l'intervalle de confiance de la provision mathématique est de [1,03M€ ; 1,60 M€].

³⁹ Soit en 2031 pour un sinistre de référence survenu en 2015

b- Modélisation des PM des Rentes marché:

La modélisation de la charge sinistres globale des rentiers nécessite de connaître le nombre de rentiers, l'âge des rentiers et le montant de la rente qui dépend des caractéristiques des rentiers: taux d'AIPP et préjudices subis. Par ailleurs, le risque lié à l'indexation des rentes est un risque cumulatif sur le long terme, d'où l'intérêt de modéliser les provisions mathématiques sur plusieurs années. Dans ce cas, l'hyperinflation des indemnités versées aux victimes devrait être aussi prise en compte dans la modélisation.

Générateur des taux de spread :

A partir des taux techniques i et des taux d'inflations i' observés sur la période récente (cf. cellules marquée en bleu dans le tableau ci-dessous), nous pourrions déduire les taux de spread i'' :

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
i/i'	0,5%	1,7%	1,7%	1,9%	2,1%	2,1%	1,8%	1,6%	1,5%	2,8%	0,1%	1,5%	2,1%	2,0%	0,9%	0,5%	0,0%	
1999	3,53%	3,0%	1,8%	1,8%	1,6%	1,4%	1,4%	1,7%	1,9%	2,0%	0,7%	3,4%	2,0%	1,4%	1,5%	2,6%	3,0%	3,5%
2000	3,81%	3,3%	2,1%	2,1%	1,9%	1,7%	1,7%	2,0%	2,2%	2,3%	1,0%	3,7%	2,3%	1,7%	1,8%	2,9%	3,3%	3,8%
2001	3,94%	3,4%	2,2%	2,2%	2,0%	1,8%	1,8%	2,1%	2,3%	2,4%	1,1%	3,8%	2,4%	1,8%	1,9%	3,0%	3,4%	3,9%
2002	3,74%	3,2%	2,0%	2,0%	1,8%	1,6%	1,6%	1,9%	2,1%	2,2%	0,9%	3,6%	2,2%	1,6%	1,7%	2,8%	3,2%	3,7%
2003	3,42%	2,9%	1,7%	1,7%	1,5%	1,3%	1,3%	1,6%	1,8%	1,9%	0,6%	3,3%	1,9%	1,3%	1,4%	2,5%	2,9%	3,4%
2004	3,13%	2,6%	1,4%	1,4%	1,2%	1,0%	1,0%	1,3%	1,5%	1,6%	0,3%	3,0%	1,6%	1,0%	1,1%	2,2%	2,6%	3,1%
2005	2,86%	2,3%	1,1%	1,1%	0,9%	0,7%	0,7%	1,0%	1,2%	1,3%	0,1%	2,8%	1,3%	0,7%	0,8%	1,9%	2,3%	2,9%
2006	2,74%	2,2%	1,0%	1,0%	0,8%	0,6%	0,6%	0,9%	1,1%	1,2%	-0,1%	2,6%	1,2%	0,6%	0,7%	1,8%	2,2%	2,7%
2007	3,08%	2,6%	1,4%	1,4%	1,2%	1,0%	1,0%	1,3%	1,5%	1,6%	0,3%	3,0%	1,6%	1,0%	1,1%	2,2%	2,6%	3,1%
2008	3,25%	2,7%	1,5%	1,5%	1,3%	1,1%	1,1%	1,4%	1,6%	1,7%	0,4%	3,1%	1,7%	1,1%	1,2%	2,3%	2,7%	3,3%
2009	3,00%	2,5%	1,3%	1,3%	1,1%	0,9%	0,9%	1,2%	1,4%	1,5%	0,2%	2,9%	1,5%	0,9%	1,0%	2,1%	2,5%	3,0%
2010	2,58%	2,1%	0,9%	0,9%	0,7%	0,5%	0,5%	0,8%	1,0%	1,1%	-0,2%	2,5%	1,1%	0,5%	0,6%	1,7%	2,1%	2,6%
2011	2,46%	2,0%	0,7%	0,7%	0,5%	0,4%	0,4%	0,6%	0,8%	0,9%	-0,3%	2,4%	0,9%	0,4%	0,5%	1,5%	2,0%	2,5%
2012	2,23%	1,7%	0,5%	0,5%	0,3%	0,1%	0,1%	0,4%	0,6%	0,7%	-0,6%	2,1%	0,7%	0,1%	0,2%	1,3%	1,7%	2,2%
2013	1,81%	1,3%	0,1%	0,1%	-0,1%	-0,3%	-0,3%	0,0%	0,2%	0,3%	-1,0%	1,7%	0,3%	-0,3%	-0,2%	0,9%	1,3%	1,8%
2014	1,48%	1,0%	-0,2%	-0,2%	-0,4%	-0,6%	-0,6%	-0,3%	-0,1%	0,0%	-1,3%	1,4%	0,0%	-0,6%	-0,5%	0,6%	1,0%	1,5%
2015	0,96%	0,5%	-0,7%	-0,7%	-0,9%	-1,1%	-1,1%	-0,8%	-0,6%	-0,5%	-1,8%	0,9%	-0,5%	-1,1%	-1,0%	0,1%	0,5%	1,0%

Tableau 3.3 : Historique de taux de spread i''

Sachant que les taux observés correspondent à une période de baisse des taux techniques, nous pourrions compléter notre échantillon par la partie inférieure du tableau qui correspondrait à des taux de spread en période de hausse des taux.

Après le listage des données et l'application d'un tri, nous traçons les taux de l'échantillon :

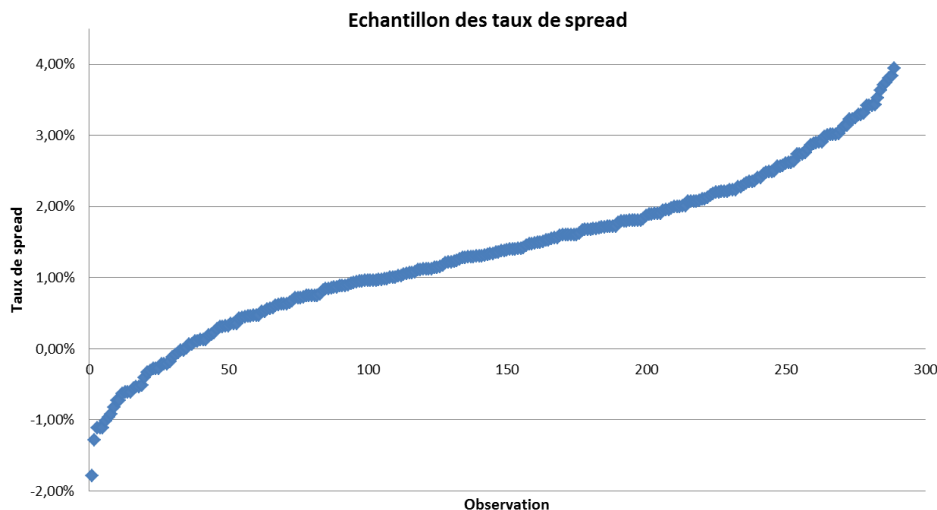


Tableau 3.3 : Historique des taux de spread i''

L'analyse de l'historique conduit à ajuster ces taux par une loi normale de paramètre $\mu=1,35\%$ et $\sigma=1,1\%$ (cf. annexe 7 : test d'adéquation).

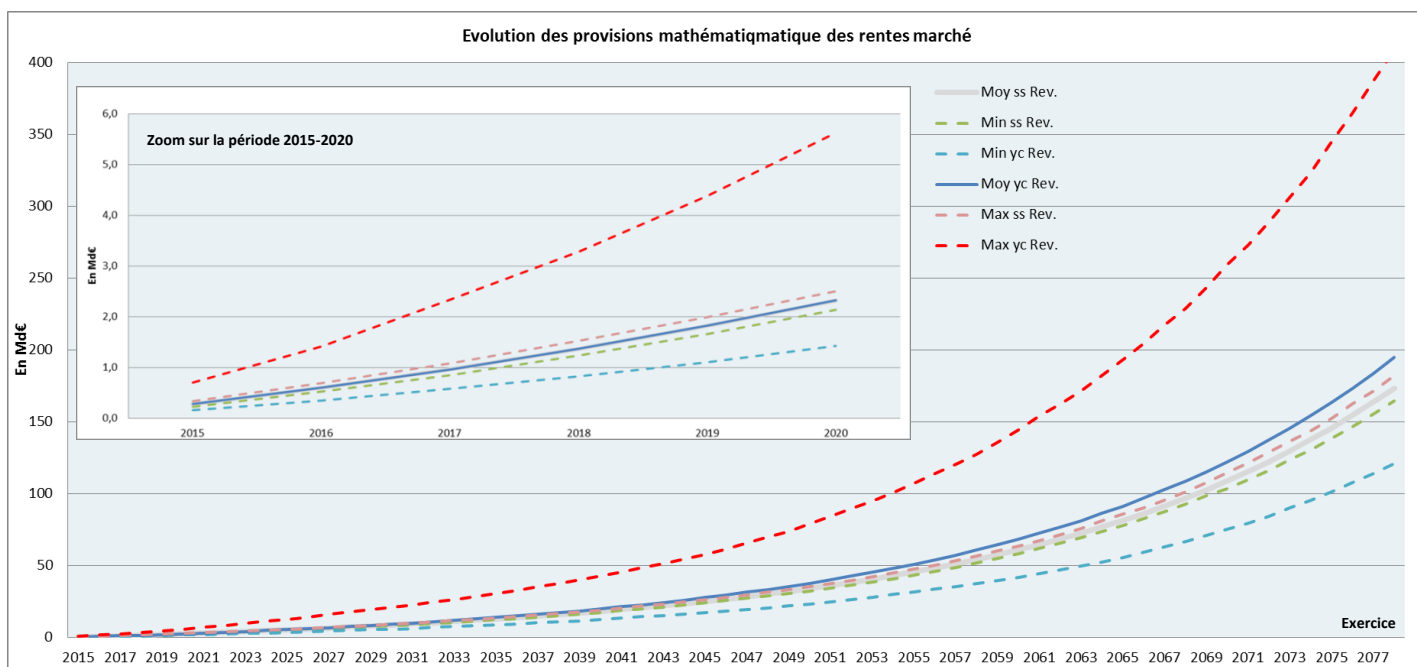
Simulation de la PM des rentes Marché :

Pour la simulation⁴⁰ de la PM marché sur le long terme, on retient les hypothèses suivantes :

- le portefeuille FFSA progresse de 2% par an
- 100% des victimes avec un taux d'AIPP supérieur à 50% sont indemnisés sous forme de rente
- le nombre de rentiers suit une loi de poisson de paramètre $\lambda = 310$ ⁴¹,
- toutes les victimes sont âgées de 43 ans à la survenance.
- le montant de la rente de référence est revalorisé annuellement au taux de l'hyperinflation de 6%. Ainsi, pour les survenances de 2016, le montant de la rente de référence serait de 42400€.
- quelle que soit la date de survenance, une période de constitution de la rente de 5 ans est retenue au cours de laquelle la rente est revalorisée de 6% annuellement.
- la mortalité retenue sur l'horizon de la modélisation est celle de la table TD 88-90 : le taux de mortalité à l'âge $x+i$ après i année correspond à celui prévu par la table TD 88-90

Formulation : $S_t = \sum_0^t N_t PM_t$

Le graphique ci-dessous, retrace les résultats obtenus de l'évolution de la provision mathématique globale des rentes avec et sans revalorisation des rentes :



Figures 3.6 : Evolution de la PM des rentiers

Il ressort de cette modélisation les éléments suivants :

⁴⁰ Bootstrap 10000 simulations

⁴¹ 310 Corresponds au nombre de victime avec un taux d'AIPP supérieur à 50%. Cette estimation est basée sur le croisement de plusieurs statistiques de la FFSA: Fréquence R C * Poids en nombre des sinistres avec un taux d'AIPP supérieur à 50% * Nombre de sinistres RC

- en 2015 au titre du premier inventaire, le montant de la PM globale varie entre :
 - 226M€ et 340M€ pour un montant moyen hors indexation de 282M€.
 - 158M€ et 702M€ pour un montant moyen y compris indexation de 283M€.
- en 2025 et au titre du 10^{ième} inventaire, le montant de la PM globale varie entre :
 - 4 793M€ et 5 491M€ pour un montant moyen hors indexation de 5 135M€.
 - 3 330M€ et 12 561M€ pour un montant moyen y compris indexation de 5 264M€.
- en 2035 et au titre du 20^{ième} inventaire, le montant PM globale varie entre
 - 12 071M€ et 13 427M€ pour un montant moyen hors indexation de 12 763M€.
 - 8 583M€ et 30 211M€ pour un montant moyen y compris indexation de 13 719M€.

- l'indexation des rentes à un impact significatif sur la charge sinistres globale des rentiers. La volatilité de la PM liée à la volumétrie des sinistres est marginale par rapport à celle liée à l'indexation des rentes.

- la VAR(99,5%) des PM y compris indexation est de :
 - 452M€ au premier inventaire (323M€ hors indexation)
 - 8 282M€ en 2025 (5 361M€ hors valorisation)
 - 20 942M€ en 2035 (13 214M€ hors valorisation)

- ainsi, la dérive à 200 ans (VAR(99,5%) - moyenne) des PM y compris indexation est de :
 - 169M€ au premier inventaire (41M€ hors indexation)
 - 3 018M€ en 2025 (226M€ hors valorisation)
 - 7 223M€ en 2035 (451M€ hors valorisation)

- en conclusion :
 - en moyenne, le coût de l'indexation des rentes est relativement faible les premières années. Cependant, le poids de ce coût est croissant avec la durée (0.4% des PM au premier inventaire, 3% des PM après 10 ans et 7% des PM après 20 ans)
 - la volatilité du coût de l'indexation est très importante dès les premières années. En valeur absolue, cette volatilité est croissante avec l'évolution du stock des rentes.

3.2.4 Limites de la modélisation

Le modèle utilisé ne capte pas la variabilité de certains facteurs du risque, notamment l'âge et le taux d'AIPP de la victime. Il ne tient pas compte de la possibilité de révision des rentes suite à une dégradation de l'état de la victime ni des rentes sur plusieurs têtes.

Le modèle ne prend pas en compte la possibilité d'une indemnisation sous forme de capital. Ainsi, des victimes avec un taux d'AIPP égal ou supérieur à 50% peuvent être indemnisées sous forme de capital.

D'autres limites peuvent être liées aux hypothèses retenues, notamment :

- l'utilisation de la table TD 88-90 : la mortalité théorique de la table TD 88-90 utilisée pourrait être considérée insuffisante par rapport à un phénomène d'allongement de l'espérance de vie observé. Cet allongement lié aux progrès de la médecine, devrait se poursuivre dans les années à venir. Cependant, les rentiers font partie d'une population d'invalides⁴², le taux de mortalité de cette catégorie est supérieur à celui de l'ensemble de la population.

⁴² D'où une surmortalité par rapport aux tables récentes TH/ TF 00-02

- l'inadéquation des taux d'inflation utilisés : les taux d'inflation future projetés peuvent déviés par rapport à ceux observés sur la période récente.
- population des rentiers considérée : des victimes avec un taux d'AIPP inférieur à 50% peuvent être indemnisées sous forme de rente.

3.3 Synthèse

- Calculé à la date d'attribution, le capital constitutif de rente correspond au coût théorique pour payer la rente jusqu'à extinction de celle-ci, en tenant compte de l'espérance de vie des rentiers (table de mortalité) et des intérêts financiers (taux d'escompte notée i).
- Pour conserver son pouvoir d'achat, la rente est majorée annuellement en fonction de l'inflation constatée (taux d'inflation noté i').
- L'appréciation du coût de l'indexation est réalisée par l'utilisation d'un taux d'actualisation modifié noté i'' ($i'' = \frac{(1+i)}{(1+i')} - 1$)
- La modélisation d'un sinistre de référence marché⁴³ avec indexation de rentes, nous conduit aux constats suivants :
 - En moyenne, le montant de la rente double après 31 ans de la date de survenance, soit à l'âge de 74 ans.
 - La volatilité autour de la rente moyenne croît avec la durée. A l'âge de 50 ans, l'écart-type des simulations est de 1,1% de la moyenne, 2,6% à l'âge de 60 ans et 4,3% à l'âge de 80 ans.
 - La valeur actuelle probable de la rente progresse pendant la durée de constitution. Puis, elle diminue progressivement jusqu'à l'extinction de la victime.
 - L'écart absolu entre la PM avec (moyenne simulations) et sans revalorisation, atteint son maximum au bout de 15 ans de la date de survenance. Ainsi, un portefeuille de rentiers est mature pour couvrir l'indexation des rentes après une période de 15 ans de prestations.
 - L'écart relatif entre PM avec (moyenne simulations) et sans revalorisation est croissant avec la durée. Ainsi, le coût de la revalorisation représente à peu près 24% de la moyenne des PM pendant la durée de constitution, puis il augmente progressivement avec l'âge pour atteindre 61% du coût total juste avant l'extinction de la rente.
- La modélisation des PM marché nous amène aux conclusions suivantes:
 - en moyenne, le coût de l'indexation des rentes est relativement faible les premières années. Cependant, le poids de ce coût est croissant avec la durée (0,4% des PM au premier inventaire, 3% des PM après 10 ans et 7% des PM après 20 ans)
 - la volatilité du coût de l'indexation est très importante dès les premières années. En valeur absolue, cette volatilité est croissante avec l'évolution du stock des rentes.

⁴³ Victime âgée de 43 ans avec taux AIPP supérieur ou égal à 50%

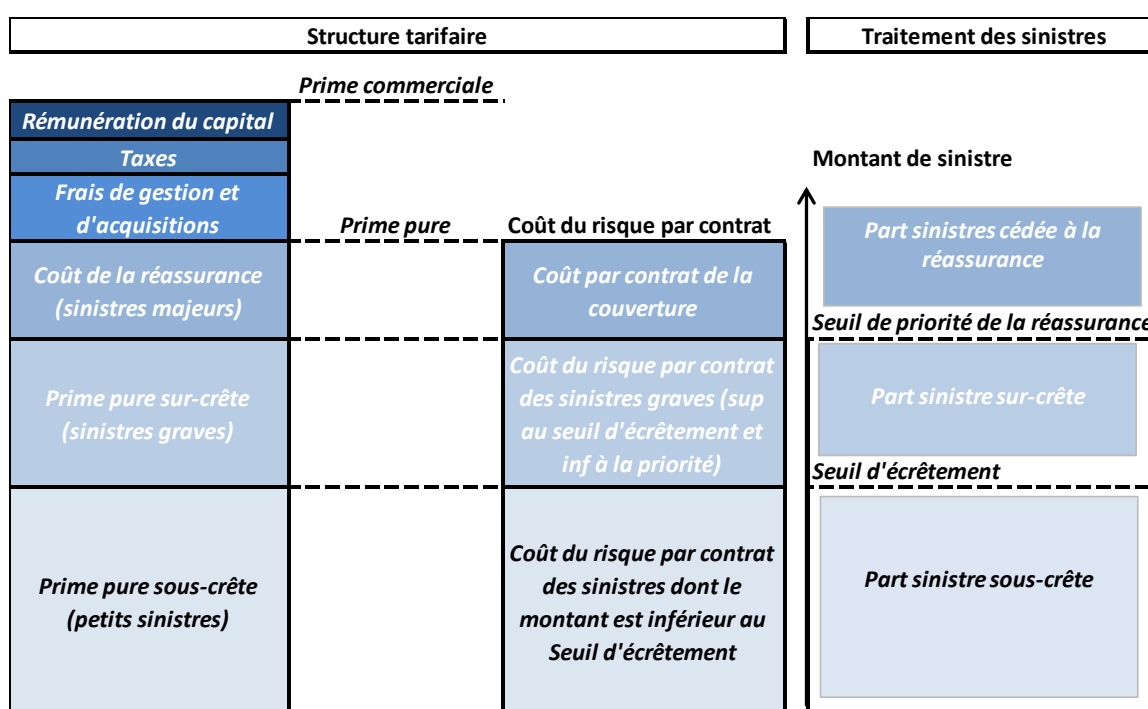
4. La modélisation des risques selon l'approche de la cédante

Les assureurs modélisent le risque RCC automobile dans le cadre de deux processus clé : la tarification du produit automobile et le calcul des provisions pour sinistres à payer.

4.1 Tarification de la garantie RC Automobile

4.1.1 Présentation générale

La plupart des compagnies d'assurance ont une structure tarifaire par garantie/produit. Le schéma suivant donne les différents compartiments du tarif commercial RCC par cellule tarifaire de base :

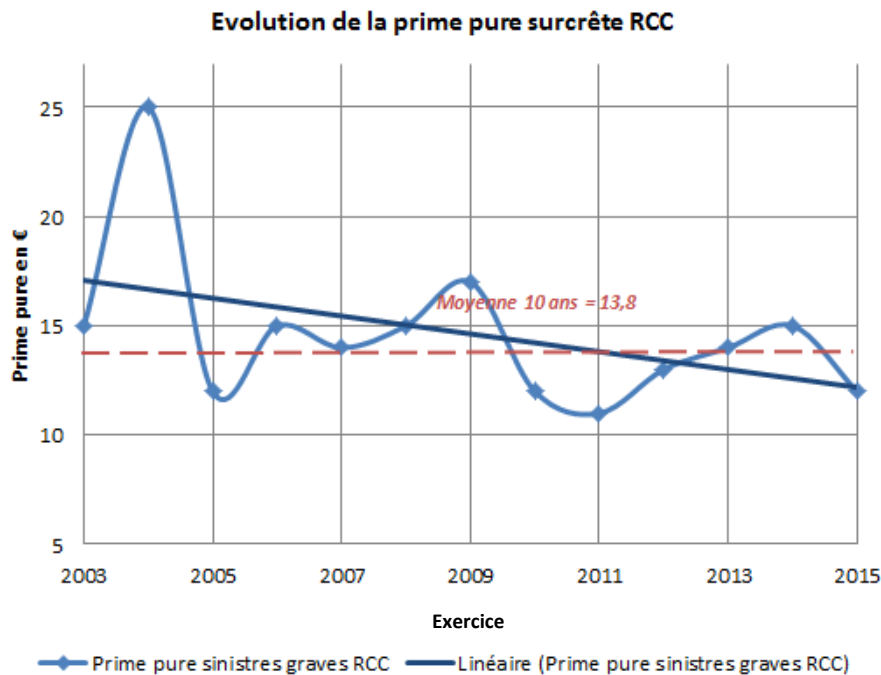


Figures 4.1 – Structure tarifaire et traitement des sinistres RCC

On suppose que le coût de la réassurance, les frais de gestion et d'acquisition, les taxes et la rémunération du capital sont connus. La tarification se résume à la meilleure estimation du coût du risque moyen lié à chaque contrat en fonction de son profil de risque.

4.1.2 Les sinistres sur-crêtes

Le coût des sinistres graves est tellement aléatoire et important qu'il impossible de le répercuter sur le tarif d'un profil de risque spécifique (exemple : profils sinistrés historiquement). Il est généralement mutualisé sur l'ensemble du portefeuille. Par ailleurs, ce coût étant très volatile dans le temps et pour éviter des variations importantes dans le tarif, les assureurs procèdent à un lissage sur plusieurs années. L'exemple théorique suivant présente une modalité de lissage :



Figures 4.2 – Lissage de la prime pure sur-crête des sinistres graves RCC

En retenant la moyenne de 10 ans (2006-2015), la prime pure des sinistres graves s’élèverait à 13,8€. A noter que les tendances constatées sur de longues durées peuvent être exploitées, pour définir des budgets à la baisse ou à la hausse de la prime pure RCC des sinistres graves.

Concernant les seuils d’écèlement, plusieurs seuils sont utilisés, 50K€, 150K€ et 500K€. Historiquement, les assureurs renaient le seuil de 150K€ qui était très proche de 1 million de francs⁴⁴. Pour assurer la comparabilité dans le temps, les seuils méritent d’être actualisés en fonction de l’inflation des coûts constatée.

Pour objectiver le choix du seuil dans le temps, une approche alternative consisterait à utiliser la méthode de quantile sur une liste des montants des sinistres :

Supposons que l’on dispose de la distribution des montants des sinistres notée F . En divisant la population en $n+1$ tranches égales, on calcule le seuil d’écèlement x_i , seuil en dessous duquel se trouve une fraction de la population égale à $\frac{i}{1+n}$, on a alors :

$$x_i^* = F^{-1}\left(\frac{i}{1+n}\right)$$

Le quantile d’ordre $\frac{i}{1+n}$ pourrait être stable dans le temps (exemple du 90ème percentile), et permettrait une qualification cohérente de sinistre grave dans le temps. Dans ce cas, le seuil d’écèlement associé varierait en fonction du profil de risque du portefeuille de l’assureur.

⁴⁴ En 2000, un million de francs correspondait à 152449,02 euros.

4.1.3 Modélisation de la sous-crête

Les modèles tarifaires sous-crêtes répondent à la question de savoir comment segmenter le portefeuille : Quels critères de tarification retenir ? Comment construire la grille tarifaire résultant de ce découpage?

L'objectif consiste à modéliser les primes pures sur la base :

- d'un jeu de variables explicatives qui définit les cellules tarifaires de base (risque individuel versus risque moyen)
- d'un historique de réalisations.
- d'une relation supposée entre des paramètres et la valeur moyenne dans chaque cellule tarifaire de base et une dispersion autour de la valeur moyenne

Généralement, on dispose de deux types de variables :

- des variables exogènes qui apportent des informations relatives au risque (âge ou sexe de l'assuré, activité professionnelle, catégorie de véhicule, zone géographique du risque, ...)
- des variables endogènes qui apportent des informations sur les réalisations individuelles passées du risque (statistiques historiques du risque).

Pour la modélisation de la prime pure RCC, le modèle le plus utilisé par le marché est celui du modèle linéaire généralisé (MLG). Ce dernier permet de prendre en compte les corrélations entre variables exogènes au sein de la population observée. Par ailleurs, il limite le nombre des cases tarifaires à estimer.

Les MLG sont utilisées sous deux formats :

- multiplicatif où le risque = produit d'effets des variables explicatives. Lorsque tel critère prend une valeur, la prime pure est rehaussée (ou abaissée) de x%.
- additifs où le risque = somme d'effets des variables explicatives. Lorsque tel critère prend une valeur, la prime pure est rehaussée (ou abaissée) de x euros.

Les modèles multiplicatifs sont en général privilégiés car ils respectent la contrainte de positivité et ils se révèlent plus robustes. Dans la suite de cet exposé, nous nous attacherons principalement aux modèles multiplicatifs.

Le prix du risque correspond à la prime pure qui se décompose en :

- Fréquence = probabilité que le risque se réalise
= Nombre de sinistres / Nombre de risques-années
- Coût Moyen = espérance du coût des prestations lors de la réalisation
= Charge Sinistre / Nombre de sinistres

La difficulté à adosser la prime pure à une loi connue contraint à utiliser une approche en trois temps:

- un modèle multiplicatif donnant la fréquence en fonction des facteurs
- idem pour les coûts moyens
- prime pure obtenue en multipliant fréquences et coûts moyens

4.1.4 Présentation des modèles linéaires généralisés⁴⁵

Les modèles linéaires généralisés (GLM) sont une généralisation souple de la régression linéaire. Ils permettent d'étudier la relation entre la variable réponse notée Y et les variables explicatives notées X_1, X_2, \dots, X_n en utilisant une fonction de lien et en autorisant l'amplitude de la variance de chaque mesure d'être une fonction de sa valeur prévue.

⁴⁵ Exposés initialement par Nelder et Wedderburn en 1972 puis détaillés ensuite par Mc Cullagh et Nelder en 1989.

Les composantes des modèles linéaires généralisés :

Prédicteur déterministe

On considère une variable endogène, Y ou dépendante, qui est définie en partie par un certain nombre m de variables exogènes, X_1, X_2, \dots, X_m pour les n unités indépendantes. En regroupant toutes les informations pour le $nième$ individu en un vecteur $x_i = (1, x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,m})$, on représente les informations pour les n unités en une matrice $n \times m+1$:

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x_{1,1} & \cdots & x_{1,m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n,1} & \cdots & x_{n,m} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x'_1 \\ \vdots \\ x'_n \end{pmatrix}$$

Dans le modèle linéaire usuel la variable endogène peut être reformulée comme:

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad (1)$$

où $Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix}, \beta = \begin{pmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_n \end{pmatrix}, \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}$ avec $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$

Pour le $nième$ individu, on définit le prédicteur linéaire par :

$$\eta_i = x'_i \beta$$

Qui correspond à une combinaison linéaire des variables exogènes et de leur coefficient respectif.

Fonction de lien

En régression linéaire comme en (1), $E[Y] = \eta$ mais il n'en est pas toujours de même pour d'autres types de modèles. Le prédicteur linéaire est donc utile pour définir la relation entre la variable endogène Y et les variables indépendantes. En posant $E[Y] = \mu$, on introduit la relation entre l'espérance de Y et le prédicteur linéaire comme :

$$\mu = g^{-1}(\eta)$$

$g(.)$ est la fonction de lien qui décrit le lien entre l'espérance de la composante aléatoire Y et la composante déterministe. La fonction de lien joue le rôle d'un changement de variable en transformant l'espérance de la variable à expliquer⁴⁶.

Fonction de densité

Le modèle linéaire (1) peut être exprimé par :

$$\mu_i = x'_i \beta + \varepsilon_i, Y_i \sim N(\mu_i, \sigma^2) \text{ avec } \mu_i = E[Y_i]$$

Les modèles linéaires généralisés permettent d'utiliser des techniques de régression en admettant que la variable endogène Y provienne d'une distribution de la famille exponentielle :

$$g(\mu_i) = x'_i \beta + \varepsilon_i, Y_i \sim E(\mu_i, \Phi)$$

⁴⁶ Exemple de fonction de lien : Log, Logit, Racine,...

Où :
 $g(.)$: fonction monotone dérivable.
 $E(\mu_i, \phi)$: distribution de la famille exponentielle
 ϕ : paramètre d'échelle
 $x'_i \beta = \eta_i$: prédicateur linéaire

La distribution d'une variable Y est dite de famille exponentielle si elle peut être écrite sous la forme :

$$f_Y(y_i; \theta_i; \phi) = \exp\left\{\frac{y_i \theta_i - b(\theta_i)}{a(\phi)} \omega_i - c(y, \phi, \omega_i)\right\}$$

Où :
 $a(.)$, $b(.)$ et $c(.)$: fonctions définies de en fonction de la loi exponentielle.
 θ_i : paramètre canonique qui est fonction de l'espérance $\theta_i = g_c(\mu_i)$
 ϕ : paramètre de dispersion
 ω_i : poids de l'observation i

Ainsi, pour toutes les distributions de la famille exponentielle, on écrit :

$$\mu_i = E[Y_i] = b'(\theta_i) \text{ et } Var[Y_i] = a(\phi_0) b''(\theta)$$

En annexe 10 les composantes de la famille exponentielle ainsi que l'expression de l'espérance et la variance en fonction de la loi de probabilité.

Dans la suite de cette partie, on présente succinctement les solutions des modèles log-linéaires qui sont généralement utilisés dans la tarification des assurances dommages.

Estimation des paramètres d'un modèle log-linéaire :

L'estimation des paramètres β_j est calculée en maximisant la log-vraisemblance des estimateurs. Les paramètres sont estimés comme solutions des équations au sens de maximisant de vraisemblance.

Les logiciels de modélisation (SAS, Pretium, R,...) calculent les estimations β_j en utilisant un algorithme itératif pour la résolution d'équations log-linéaires.

4.1.2 Prise en compte des évolutions règlementaires dans la tarification

a- L'indexation des rentes

Pour la prise en compte de l'indexation des rentes dans la tarification, plusieurs options sont offertes aux compagnies d'assurance :

- option 1 : mutualiser le coût de l'indexation sur l'ensemble du portefeuille automobile en injectant dans le tarif une majoration forfaitaire sur la garantie RC Automobile
- option 2 : retraiter l'historique de la sinistralité du portefeuille en intégrant le coût de l'indexation puis modélisation multivariées des facteurs discriminants du risque
- option 3 : Transférer le risque sur la réassurance puis majorer le tarif avec un taux équivalent au coût supplémentaire de la réassurance

Nous étudions par la suite les principales modalités du calcul et les avantages et les inconvénients de chaque option.

Option 1 : mutualiser le coût sur l'ensemble du portefeuille

Cette option consiste à majorer chaque contrat RC par un taux t_i tel que :

$$t_i = \frac{CI_i}{S_i} = \frac{NR_i \times Im_i}{RA_i \times PP_i}$$

Avec :

- CI_i : Coût attendu de l'indexation des rentes issues des survenances de l'exercice i
- S_i : Charge sinistres espérée RCC de l'exercice i
- NR_i : Nombre de rentiers attendus des survenances de l'exercice i
- Im_i : Coût de l'indexation future d'une rente moyenne versés pendant $n=w-x$ annuités,
Où
 - w : âge limite ou âge moyen de décès
 - x : âge moyen de rentrée en service de la rente
- PP_i : Prime pure moyenne du portefeuille de l'exercice i
- RA_i : Nombre de risque années de l'exercice i

Dans ce cas, un coût global est estimé en moyen puis intégré forfaitairement dans tarif RC Automobile. L'indexation des rentes est gérée ensuite à part. Cette option présente les avantages suivants :

- Simplicité de mise en œuvre.
- Mutualisation du coût de l'indexation des rentes sur l'ensemble des assurés.
- Présente l'avantage de la continuité tarifaire la première année : la majoration tarifaire résultante de la pris en compte de l'indexation des rentes est marginale.
- Stabilité relative de la structure tarifaire dans le temps : pour une structure de sinistralité stable, les revalorisations tarifaires des années suivantes dépendront de l'évolution de l'inflation.

Les inconvénients :

- Risque d'une insuffisance du tarif : l'assureur encours le risque d'une dérive de la sinistralité et de l'inflation.
- Compétitivité tarifaire : les assurés les moins risqués trouveront un intérêt de souscrire chez les compagnies qui retiennent la prédictibilité des responsables des accidents corporels graves.
- Superposition des couches tarifaires : la figure 4.1 intégrera un coût supplémentaire lié à l'indexation.
- Nécessite une base de rentiers suffisante : La variance des estimateurs retenus dans la charge globale de l'indexation des rentes dépend de la profondeur de la base des rentiers.

Option 2 : La responsabilité d'un sinistre corporel grave devient un critère tarifaire

Cette option consiste à créer un nouveau compartiment de tarif. La responsabilité d'un sinistre corporel grave devient un critère tarifaire. Ainsi, nous pourrons déterminer les facteurs discriminants de ce risque après les étapes suivantes:

- sélection des sinistres avec un taux AIPP $\geq 50\%$
- retraitement de l'historique de sinistralité par la prise en compte des taux d'actualisation des préjudices et des taux d'indexation des rentes observés sur la période récente.
- modélisation multivariée du coût moyen sur la base de l'historique de sinistralité non écrêté

Exemple de formulation :

$$f(x_{1i}; x_{2i}; x_{3i}; x_{4i}; x_{5i}; x_{6i}; x_{7i};) = CM_i$$

Avec

- x_{1i} : Âge de l'assuré
- x_{2i} : Ancienneté de permis de conduire,
- x_{3i} : Classe de véhicule,
- x_{4i} : Zone de risque (commune)

x_{5i} : Usage de véhicule
 x_{6i} : Forfait kilométrique
 CMi : Coût moyen modélisée du profil de risque i

Les avantages de cette option :

- permet à l'assureur de prendre en compte même les sinistres indemnisés sous forme de capital.
- souplesse tarifaire dans le temps. Ainsi, le coefficient associé du coût de l'indexation et majoré ou minoré en fonction de la sinistralité constatée.
- Approche intégrée qui pourrait servir comme un levier de la politique de sélection des risques
- compétitivité tarifaire

Les inconvénients

- complexité de mise en œuvre.
- discontinuité du tarif pour les segments du portefeuille fortement exposé : forte majorations tarifaire lors de la mise en place du dispositif. Dans les années suivantes, la tarif serait volatile vu que la charge de l'indexation est répartie sur une partie du portefeuille.
- risque d'une insuffisance du tarif : l'assureur encours le risque d'une dérive de l'inflation.
- nécessite une base de sinistres très importante.

Option 3 : Transférer le risque et majorer le tarif

Cette option consiste à majorer le tarif avec un taux t_i , tel que :

$$t_i = t_r$$

Avec t_r : taux de prime de réassurance

Cette option présente les avantages suivants :

- Simplicité de mise en œuvre.
- permet l'assureur le lisser le coût sur l'ensemble du portefeuille.
- Réduction du coût de gestion des sinistres

-

Les inconvénients

- Coût de la couverture en réassurance.
- Risque de dépendance aux réassureurs
- Volatilité des taux appliqués
- Compétitivité tarifaire

b- Le besoin en capital solvabilité II

La formule générique du tarif s'écrit comme suit (cf. figures 4.1) :

$$P_{ci} = P_{pi} + P_r + F_u + CR_u + T + R_c$$

Avec :

P_{ci} : Prime commerciale de l'assuré i

P_{pi} : Prime pure-sous-crête de l'assuré i (calibrée en fonction des caractéristiques de l'assuré)

P_r : Prime pure-sur-crête forfaitaire par contrat (charge mutualisée sur l'ensemble du portefeuille et qui prend en compte les montants des sinistres jusqu'au seuil d'intervention de la réassurance)

F_u : Frais de gestion et d'acquisition par contrat (exprimé généralement en % de P_{ci})

T : Taxe fiscal et contribution au Fonds de garantie⁴⁷

⁴⁷ 35% de la prime commerciale pour la garantie responsabilité civile (particuliers)

CR_u : Coût de la réassurance par contrat (exprimé généralement en % de P_{ci})

R_c : Rémunération du capital immobilisé ou financement de la marge de solvabilité

Pour la prise en compte du besoin en capital solvabilité II dans la tarification (*calibrage de R_c*), les compagnies d'assurance disposent de deux approches :

- approche 1 : mutualiser le coût du capital sur l'ensemble du portefeuille de la compagnie. Dans ce cas, le coût du capital est piloté au niveau global sans aucune distinction entre le besoin en capital par marché, branches, produits ou garantie.
- approche 2 : injecter dans tarif le coût du capital associé aux risques couverts. A titre d'exemple, pour le risque RC auto et en formule standard (cf. section 6) :
 - pour 100€ de primes et 100€ de réserves, le besoin de capital s'élèverait à 47,7€ au titre de risque de primes et réserves⁴⁸
 - supposant que la rentabilité souhaité est de 6%. Y compris impôt, le taux brut serait de 9,43%.
 - le coût de capital s'élèverait donc à 4,4€

Ainsi, quatre options sont proposées à l'analyse :

Option 1 : Mutualiser le coût du capital sur l'ensemble du portefeuille de la compagnie

Dans ce cas, la tarification n'est pas liée directement au besoin en capital. Le paramètre R_c n'est pas défini unitairement en amont dans le tarif. Il résulte d'un calcul global du besoin en capital sur l'ensemble du portefeuille de la compagnie.

En pratique, dans cette approche le besoin en capital est piloté par des points de marge implicite sur le ratio de sinistralité ou le ratio combiné global. Cette marge pourrait être pilotée à différentes échelles : produit ; groupe de produit, marché ou globalement.

Cette option présente les avantages suivants :

- Simplicité de mise en œuvre.
- Lissage du coût du capital sur l'ensemble du portefeuille.
- Réduction des coûts de développement des modèles et des frais de gestion

Les inconvénients :

- Risque de non atteinte des objectifs de rentabilité des fonds propres
- Risque d'anti-sélection
- Financement insuffisant du risque de souscription, notamment en cas de dérive du profil de risque de la compagnie

Option 2 : Mutualiser le coût du capital avec une répartition uniforme entre risques

Dans cette option, le financement du besoin de marge de solvabilité correspondant à un pourcentage de la prime commerciale est injecté directement dans le tarif.

Dans ce cas : $R_c = r_{cu} P_{ci}$

Avec :

r_{cu} = taux de prime relatif au besoin en capital

$$= \frac{\text{taux de rentabilité attendu} \times \text{SCR global}}{\text{total des primes acquises}}$$

Cette option présente les avantages suivants :

⁴⁸ Hors effet diversification et sans réassurance (NP facteur = 0)

- simplicité de mise en œuvre.
- lissage du coût du capital sur l'ensemble du portefeuille.
- couverture du coût d'immobilisation du capital (transfert de la charge SII dans le tarif)

Les inconvénients

- financement insuffisant du risque de souscription, notamment en cas de dérive du profil de risque de la compagnie
- volatilité supplémentaire dans le tarif
- risque d'anti-sélection

Option 3 : Intégrer dans le tarif, le coût du capital des garanties couvertes

Dans cette option, le besoin en capital solvabilité II capte la volatilité sous-jacente de la garantie ou du produit. La compagnie pourrait utiliser la formule standard ou un modèle interne pour le chargement du tarif en fonction de la nature du risque couvert.

Dans ce cas : $R_{cj} = t_r r_j P_{ci}$

Avec :

t_r = taux de rentabilité attendue de la compagnie

$$r_j = \frac{\text{SCR du risque } j}{\text{Best estimate des primes de la garantie } j}$$

Cette option présente les avantages suivants :

- intégration de la charge du besoin en capital Solvabilité II directement dans le tarif.
- stabilité des taux appliqués $t_r r_j$
- compétitivité tarifaire

Les inconvénients

- les garanties rentables peuvent être pénalisées
- complexité de mise en œuvre : plusieurs niveaux de corrélation qui nécessite la répartition de l'effet diversification.
- coût de mise en place et de suivi

Option 4 : Intégrer dans le tarif, le coût du capital des garanties couvertes corrigé de l'espérance de rentabilité

Par rapport à l'option précédente, la compagnie intègre dans le paramètre R_c , l'espérance de rentabilité du risque i .

Dans ce cas : $R_{cj} = t_{rj} r_j P_{ci}$

Avec :

t_{rj} : taux de rentabilité espéré de la garantie j

Cette option présente les avantages suivants :

- intégration de la charge du besoin Solvabilité II directement dans le tarif.
- prise en compte du couple rendement-risque dans le chargement tarifaire R_{cj}
- compétitivité tarifaire sur les segments rentables et moins consommateurs en besoin de capital.

Les inconvénients :

- Nombre de paramètres à estimer

- Complexité de mise en œuvre : plusieurs niveaux de corrélation qui nécessite la répartition de l'effet diversification.
- Coût de mise en place et de pilotage

4.2 Le calcul des provisions pour sinistres à payer

La garantie responsabilité civile Automobile, nécessite un historique suffisamment important pour appréhender intégralement la liquidation de ce risque à déroulement long.

La première partie présente des méthodes déterministes, les méthodes Chain Ladder, Loss Ratio, moindres carrés de De Vylder, etc. La deuxième partie est consacrée à la présentation des méthodes stochastiques, et à l'analyse de la méthode bootstrap qui permet d'obtenir des estimations de la variance par les gestionnaires.

4.2.1 Notations et formalisation

Considérant les notations suivantes :

- i : année de survenance des sinistres,
- j : année de développement, le délai de développement traduit l'étalement des paiements des sinistres sur plusieurs années.
- $i + j$: année calendaire de paiement (pour les incréments),
- $R_{i,j}$: les incréments de paiements, pour l'année de développement j , pour les sinistres survenus l'année i ,
- $S_{i,j}$: les paiements cumulés, avec $S_{i,j} = R_{i,0} + R_{i,1} + \dots + R_{i,j}$, pour l'année de survenance i ,
- P_i : la prime acquise pour l'année i ,
- $N_{i,j}$: le nombre cumulé de sinistres pour l'année de survenance i vu au bout de j années,
- $M_{i,j}$: la charge dossier par dossier cumulée (estimée par les gestionnaires de sinistres sur les $N_{i,j}$ connus, ou partiellement connus), pour l'année de développement j , pour les sinistres survenus l'année i ,

Les données utilisées sont rapportés à des périodes annuelles. Ils sont arrêtés à la date d'inventaire ou à la fin de l'exercice. Les statistiques sont présentées sous forme de triangle :

		Année de développement j									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Année de survenance i	2004	$R_{0,0}$	$R_{0,1}$	$R_{0,2}$	$R_{0,3}$	$R_{0,4}$	$R_{0,5}$	$R_{0,6}$	$R_{0,7}$	$R_{0,8}$	$R_{0,9}$
	2005	$R_{1,0}$	$R_{1,1}$	$R_{1,2}$	$R_{1,3}$	$R_{1,4}$	$R_{1,5}$	$R_{1,6}$	$R_{1,7}$	$R_{1,8}$	
	2006	$R_{2,0}$	$R_{2,1}$	$R_{2,2}$	$R_{2,3}$	$R_{2,4}$	$R_{2,5}$	$R_{2,6}$	$R_{2,7}$		
	2007	$R_{3,0}$	$R_{3,1}$	$R_{3,2}$	$R_{3,3}$	$R_{3,4}$	$R_{3,5}$	$R_{3,6}$			
	2008	$R_{4,0}$	$R_{4,1}$	$R_{4,2}$	$R_{4,3}$	$R_{4,4}$	$R_{4,5}$				
	2009	$R_{5,0}$	$R_{5,1}$	$R_{5,2}$	$R_{5,3}$	$R_{5,4}$					
	2010	$R_{6,0}$	$R_{6,1}$	$R_{6,2}$	$R_{6,3}$						
	2011	$R_{7,0}$	$R_{7,1}$	$R_{7,2}$							
	2012	$R_{8,0}$	$R_{8,1}$								
	2013	$R_{9,0}$									

Figures 4.3 – Triangle de liquidation des sinistres

Exemples de lecture:

$R_{0,4}$: Montant des paiements effectués au cours de l'année 2008 pour la survenance 2004

$R_{3,4}$: Montant des paiements effectués au cours de l'année 2004 pour la survenance 2007

Dans le triangle ci-dessus on suppose que tous les sinistres sont réglés et clôturés au bout de 10 ans.

4.2.2 Les méthodes déterministes

a- Méthode de Chain Ladder

Objectif de la méthode :

Déterminer la charge ultime des sinistres par année de survenance :

- Sinistres survenus – déjà déclarés ou non à l’inventaire permanent des sinistres
- Y compris la charge des sinistres tardifs, les récupérations auprès des compagnies d’assurance adverses et les éventuels gains ou pertes (Boni/mali) sur les estimations à l’inventaire permanent pour les sinistres déjà déclarés.

Hypothèses :

La cadence des paiements (ou des charges) des sinistres d’une même survenance est identique quelle que soit l’année de survenance (homothétie des données entre les différentes années de développement).

$$\forall i, \forall j \quad X_{i,j+1} = \Phi_j \times X_{i,j}$$

Il s’agit d’une hypothèse très forte qui suppose en particulier que :

- les sinistres sont déclarés et payés au même rythme quelle que soit la date de survenance.
- le développement des sinistres est régulier.

Les grandes lignes de la méthode :

- Utilisation des triangles de données cumulées
- Estimation des cadences à partir des données historiques
- Utilisation de ces cadences pour projeter le développement futur.

Après avoir éliminé les valeurs aberrantes, la série moyenne des C_j peut être obtenue selon plusieurs méthodes :

Moyenne des ratios : $C_j = \sum C_{i,j} / (n-j)$

Moyenne des k derniers ratios : $C_j = \sum C_{i,j} / k$

Moyenne pondérée : $C_j = \sum X_{i,j+1} / \sum X_{i,j}$

b- Méthode Borhutter-Fergusson

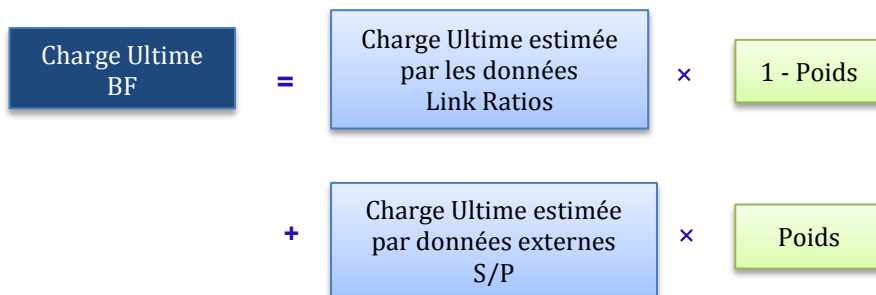
La méthode Borhutter-Fergusson introduit un a priori sur la charge ultime. Elle combine deux méthodes alternatives :

- Méthode naïve du Loss Ratio (S/P) qui n’accorde aucun crédit à l’expérience.
- Méthode du Link Ratio qui prend totalement en compte l’expérience.

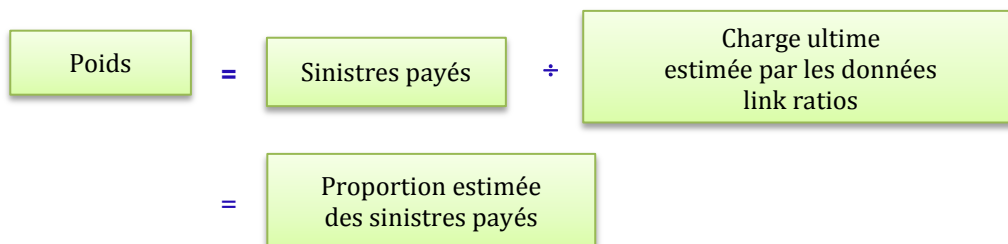
Cette méthode est en général utilisée lorsque le développement des premières années est insuffisant pour projeter la charge à l’ultime ou lorsque l’on observe un changement dans la nature du risque⁴⁹. Elle permet de tenir compte des éléments extérieurs aux données (tendances de marché, avis d’expert, évolutions externes...) et de limiter les effets de levier que pourrait engendrer la méthode du Link Ratio sur les exercices les plus récents.

Le schéma suivant présente le calcul de la méthode:

⁴⁹ Dans ce cas, les cadences historiques ne sont pas adaptées aux développements futurs.



En remplaçant le poids par sa valeur :



En format analytique la méthode s'écrit :

$$\hat{R}_{i,n} = R_{i,j} + [1 - \hat{f}_{j-i}]E_i$$

Avec :

$$\hat{f}_j = \prod_{k=j+1}^n \frac{1}{\hat{C}_k}$$

E_i = Charge ultime estimée par donnée externe (exemple: pour un $\frac{S}{C}$ à priori de 95% et un niveau de primes de 40m€, E_i égale à 38 m€)

c- Méthode De Vylder

La méthode de Florent De Vylder⁵⁰ est une modélisation économétrique des triangles de liquidation basée sur l'évolution des facteurs suivants :

- Facteur relatif à l'année de survenance : x_i (saut vertical)
- Facteur lié à l'année de développement : y_i (saut horizontal)
- Facteur exprimant l'inflation annuelle : λ_{i+j} (saut diagonal)

La méthode utilise directement les montants non cumulés des paiements R_{ij} sous la forme d'un produit de facteurs attribués aux trois directions du triangle de liquidation :

$$\forall i \in \{0, \dots, I\}, j \in \{0, \dots, J\}, R_{i,j} = x_i y_i \lambda_{i+j}$$

A ce stade, les trois facteurs ne sont pas identifiables dans la mesure où les vecteurs $[x_i, y_i, \lambda_k]$ et $[ax_i, \frac{y_i}{a}, \lambda_k]$ donnent les mêmes valeurs de $R_{i,j}$ pour tout a non nul. Avec une inflation annuelle

⁵⁰ Développée en 1978

constante, il est possible d'intégrer le paramètre λ_{i+j} dans les autres paramètres pour faciliter la lecture. Le modèle s'écrit alors :

$$\forall i \in \{0, \dots, I\}, j \in \{0, \dots, J\}, R_{i,j} = x_i y_j$$

En rajoutant la contrainte $\sum_{j=0}^J y_j = 1$:

- L'équation $\sum_{j=0}^J X_{i,j} = x_i \sum_{j=0}^J y_j = x_i$ permet d'interpréter x_i comme le montant des règlements ultimes de l'année i .
- Par ailleurs, l'équation $y_j = \frac{R_{i,j}}{x_i}$ permet d'interpréter y_j comme la part de ce montant ultime payée au cours de la $j^{\text{ème}}$ année de développement.

A partir des équations précédentes: $S_{i,j} = \sum_{h=0}^j R_{i,h} = x_i \sum_{h=0}^j y_h = x_i Y_j$

Ainsi $\forall i \in \{0, \dots, I\}, \frac{S_{i,j+1}}{S_{i,j}} = \frac{x_i Y_{i,j+1}}{x_i Y_{i,j}} = \frac{Y_{i,j+1}}{Y_{i,j}}$

Les estimateurs x_i et y_j sont calculés en minimisant l'expression des moindres carrées pondérés:

$$\Delta = \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J \omega_{i,j} (x_{i,j} - x_i y_j)^2$$

Après dérivation, les solutions x_i et y_j sont données alors par le système d'équation suivant :

$$\forall 0 \leq i \leq I \text{ et } 0 \leq j \leq J \quad \begin{cases} x_i = \frac{\sum_{j=0}^{J-i} \omega_{i,j} X_{i,j} y_j}{\sum_{j=0}^{J-i} \omega_{i,j} y_j^2} \\ y_j = \frac{\sum_{i=0}^{I-j} \omega_{i,j} X_{i,j} x_i}{\sum_{i=0}^{I-j} \omega_{i,j} x_i^2} \end{cases}$$

La solution de ce système s'obtient de manière récursive et s'écrit comme suit :

$$\begin{cases} x_i = f_i(y_0, y_1, \dots, y_J) \\ y_j = g_j(x_0, x_1, \dots, x_I) \end{cases}$$

La vitesse de convergence de la solution dépend du choix des valeurs initiales de $y_i^{(0)}$

4.2.3 Les méthodes stochastiques

La finalité première de l'approche stochastique est de mesurer l'incertitude présente dans :

- Les triangles de liquidation,
- Les résultats des méthodes déterministes.

Les méthodes stochastiques permettent :

- d'expliciter les hypothèses utilisées dans le modèle et de valider au moins partiellement, celles-ci,
- d'évaluer la variabilité de la provision « prévue » par le modèle,
- d'estimer la loi de probabilité de la provision (technique bootstrap),
- de simuler à l'aide de méthodes Monte-Carlo, la sinistralité d'exercices futurs (Dynamic Financial Analysis).

L'estimation de la provision donnée par une méthode stochastique doit être :

- Proche de l'évaluation Chain Ladder (Régression lognormale, ...).
- Exactement égale à l'évaluation Chain Ladder (modèle conditionnel de Mack, ...).

a- Modèle conditionnel de Mack :

Le modèle de Mack est la version stochastique de la méthode de Chain Ladder ; en effet, le montant des provisions estimé est identique. Il a cependant l'avantage d'estimer une erreur de prédiction des provisions.

Ce modèle non paramétrique repose sur trois hypothèses :

H1- Il existe f_j tel que $E(S_{i,j+1}|S_{i,0}, S_{i,1}, \dots, S_{i,j}) = f_j S_{i,j}$ pour $1 \leq i \leq n, 0 \leq j \leq n-1$

H2- Les paiements cumulés $S_{i,j}$ sont indépendants des dates de survenance :
Les variables aléatoires $(S_{i,0}, S_{i,1}, \dots, S_{i,n})$ et $(S_{k,0}, S_{k,1}, \dots, S_{k,n})$ sont indépendantes pour $i \neq k$

H3- Il existe σ_j tel que $Var(S_{i,j+1}|S_{i,0}, S_{i,1}, \dots, S_{i,j}) = \sigma_j S_{i,j}$ pour $1 \leq i \leq n, 0 \leq j \leq n-1$

Soit $D = \{S_{i,j+1}/i + j \leq n\}$ l'ensemble des variables observables. Sous les hypothèses ci-dessus, $E(S_{i,n}|D) = S_{i,n-i+1} f_{jn-i+1} \dots f_{n-1}$, les facteurs (f_j) sont estimés pas les facteurs de développement de Chain Ladder (\hat{f}_j) qui sont sans biais et non corrélés.

Les σ_j sont estimés par
$$\begin{cases} \hat{\sigma}_j^2 = \frac{1}{n-j-1} \sum_{i=0}^{n-j-1} S_{i,j} \left(\frac{S_{i,j+1}}{S_{i,j}} - \hat{f}_j \right)^2, 0 \leq j \leq n-2 \\ \hat{\sigma}_{n-1}^2 = \min(\hat{\sigma}_{n-2}^4 / \hat{\sigma}_{n-3}^2, \min(\hat{\sigma}_{n-3}^2 / \hat{\sigma}_{n-2}^2)) \end{cases}$$

L'écart quadratique moyen⁵¹ mesure l'incertitude de prédiction. Pour les provisions par d'exercice, il est défini par $MSEP(\hat{R}_i) = E[(\hat{R}_i - R_i)^2 | D]$

Sous les hypothèses énoncés et si $\hat{S}_{i,n-i} = S_{i,n-i}$ on peut l'estimer par :

$$\widehat{MSEP}(\hat{R}_i) = \hat{S}_{i,n}^2 \sum_{j=n-i+1}^{n-1} \frac{\hat{\sigma}_j^2}{\hat{f}_j^2} \left(\frac{1}{\hat{S}_{i,n}} + \frac{1}{\sum_{k=1}^{n-j} S_{i,k}} \right) \text{ pour } i = 2, \dots, n$$

L'estimateur du MSEP de la provision totale est alors donné par :

$$\widehat{MSEP}(\hat{R}) = \sum_{i=2}^n \left\{ \widehat{MSEP}(\hat{R}_i) + \hat{S}_{i,n} (\sum_{k=i+1}^n \hat{S}_{k,n}) \sum_{j=n-i+1}^{n-1} \frac{2\hat{\sigma}_j^2}{\hat{f}_j^2 \sum_{u=0}^{n-j} S_{u,j}} \right\} \text{ pour } i = 2, \dots, n$$

En s'appuyant sur une hypothèse de distribution des résidus, on obtient un intervalle de confiance pour les provisions :

- Distribution normale $IC_S = [\hat{R}_i + /- t_s \text{ se}(\hat{R}_i)]$
- Distribution log-normale $IC_S = \left[\exp(\ln(\hat{R}_i) - \frac{\hat{\sigma}_i^2}{2} + /- t_s \sigma_i) \right]$; $\hat{\sigma}_i^2 = \ln(1 + (\text{se}(\hat{R}_i)^2 / \hat{R}_i^2))$

⁵¹ Mean squared error of prediction

b- Méthode de Chain ladder - Bootstrap

Le bootstrap est une méthode de rééchantillonnage (avec remise) utilisant des simulations Monte-Carlo. Inventée par Efron en 1979, elle permet en particulier d'estimer la variabilité d'un paramètre. Simple à mettre en œuvre, cette méthode est de plus en plus utilisée en assurance non-vie.

L'utilisation du bootstrap suppose que les éléments de l'échantillon de départ soient indépendants et identiquement distribués (iid). Les variables $(X_{i,j})$ ne sont en général pas identiquement distribuées. Il est donc préférable d'avoir recours aux résidus du modèle, en particulier les résidus de Pearson qui sont plus simples à calculer.

La méthode est basée sur la simulation d'un très grand nombre de triangles de pseudo-données sur lesquels est appliquée la méthode de Chain Ladder classique, afin d'obtenir la distribution de la loi de sinistralité. Elle permet, une analyse des provisions enrichie d'une prise en compte d'un seuil de risque (x %) choisi:

- VaR : Réalisation d'ordre égal au seuil de risque souhaité
 - $P(X > VaR(x\%)) = x\%$
- Tail-VaR : moyenne des réalisations d'ordre supérieur au seuil de risque souhaité
 - $E(X/X > VaR(x\%))$

Ci-dessous, les étapes de la méthode :

Etape 1 : construction du triangle des paiements prédits à partir des facteurs de développement et de la dernière diagonale

$$(M_{i,j})_{i+j < n} = X_{i,n-i} / \prod f_k$$

Etape 2 : Calcul des résidus du triangle supérieur à partir des triangles en données incrémentales.

Résidus de Pearson: $r_{ij} = x_{i,n-i} - m_{ij} / m_{ij}^{1/2}$

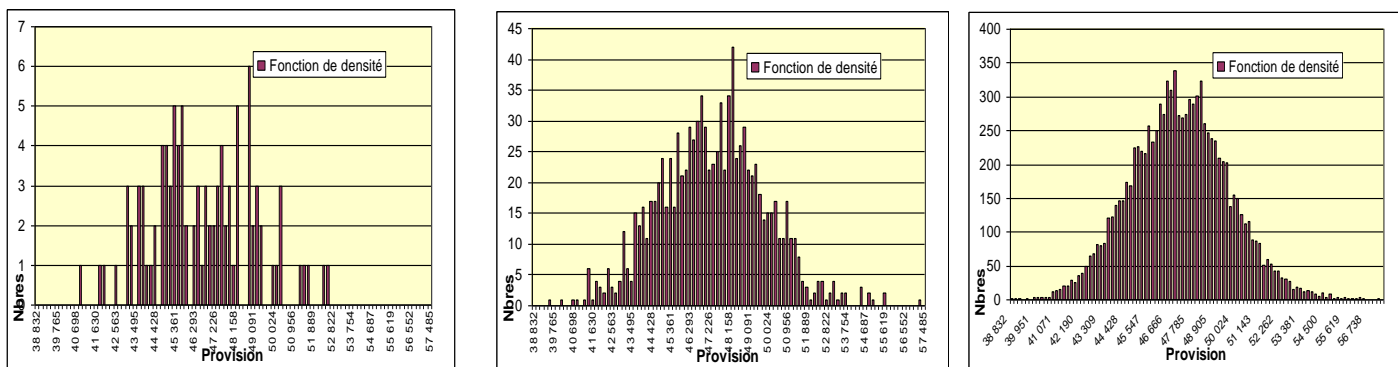
Etape 3 : Rééchantillonnage (avec remise) de ces résidus à l'aide d'un générateur aléatoire jusqu'à obtenir n nouveaux triangles de résidus, ou n est le nombre de simulations souhaité.

Etape 4 : Reconstitution, pour chaque simulation, du triangle des paiements.

$$X_{ij}^{(k)} = m_{ij} + r_{ij}^{(k)} m_{ij}^{1/2} \text{ pour } k = 1 \dots n$$

Etape 5 : Application de la méthode Chain Ladder traditionnelle sur chacun des n triangles obtenus.

Plus le nombre de simulations est important, plus la fonction de densité sera régulière:



Figures 4.4 – Illustration provisions Bootstrap : fonction de densité en fonction du nombre de simulation

4.3 Le calcul des provisions Best Estimate de la RC corporelle

4.3.1 Les modalités de calcul des provisionnements pour sinistres

Sur la base du rapport du groupe de travail sur le calcul du Best Estimate en assurance dommage publié en 2007, nous retenons en particuliers les traitements suivants:

- Distinction graves et hors graves
- Retraitement de l'impact du taux d'actualisation et de la table de mortalité au niveau des rentes potentielles,
- Analyse séparée des recours
- Les données utilisées excluent les arrérages et les PM de rentes en service qui sont traités à part.

4.3.2 Le calcul du Best Estimate provisions sinistres:

Le calcul du Best Estimate (BE) des provisions sinistres

Pour estimer le montant des engagements à mettre dans le passif, notamment ceux relatifs aux sinistres à payer, les compagnies d'assurance calculent la charge de sinistres ultime par catégorie de risque. La notion de best estimate est définie par l'extrait suivant : « *La meilleure estimation est égale à la moyenne pondérée par leur probabilité des flux de trésorerie futurs, compte tenu de la valeur temporelle de l'argent (valeur actuelle probable des flux de trésorerie futurs), déterminée à partir de la courbe des taux sans risque pertinente. Le calcul de la meilleure estimation est fondé sur des informations actuelles crédibles et des hypothèses réalistes et il fait appel à des méthodes actuarielles et des techniques statistiques adéquates* »

Le calcul des BE pour sinistres à payer nécessite donc d'utiliser l'une des méthodes traitées dans la partie 4.2 avec actualisation des flux futurs intervenant après la date d'inventaire.

Le calcul du BE des Provisions Mathématiques Des Rentes

Le calcul du besoin en capital au titre des rentes en services futurs nécessite le calcul de la meilleure estimation des provisions mathématiques des rentes, elle est donnée par la formule suivante (cf. sous-section 3.1.2) :

$$BE_R = \sum_i^n VAP(R_i) (1 + T_C) = \sum_i^n (a_{xi} * R_i) (1 + T_C)^{52}$$

Avec ;

n : nombre de rentiers dans le portefeuille

R_i : montant de la rente versée annuellement à la victime i

$VAP(R_i)$: valeur actuelle probable d'une rente viagère de R_i versée à la victime i

T_C : taux de chargement des frais de gestion

4.3.3 L'actualisation des flux futurs

Courbe des taux sans risque :

Pour l'actualisation des flux futurs nécessaire au calcul des BE des provisions sinistres, l'assureur doit faire appel à une courbe des taux sans risque dont la méthodologie est donnée par le régulateur.

La courbe des taux est construite par monnaie sur la base des swaps de taux ajustés du risque de crédit:

- les *swaps* de taux sont retenus en raison de leur grande liquidité,

⁵² Par mesure de simplification on suppose que toutes les rentes sont annuelles et à terme échu. L'intégration d'un facteur d'ajustement serait nécessaire pour les rentes infra-annuelles et à terme échoir.

- une partie de la courbe des taux est extrapolée en partant du dernier point liquide (*last liquid point* ou LLP) vers un point ultime (*Ultimate Forward Rate*, UFR),
- la directive d'Omnibus II prévoit une durée d'extrapolation de 40 ans pour la courbe euro.
- L'extrapolation est faite à partir de 20 ans en faisant converger la courbe des taux *forward* vers 4,20% (UFR),
- La courbe des taux *forwards* obtenue est ensuite convertie en courbe des taux spots :

$$Ts_n = \left(\frac{1 + Tf_n}{1 - Tf_n * \left(\sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{(1 + Ts_i)^i} \right)} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Où

i : maturité

Tf_n : Taux de base de la jambe fixe du swap de maturité n

Ts_n : Taux spot de maturité n

- L'ajustement au titre du risque de crédit est une réduction de 10 points de base à la courbe des taux spots.

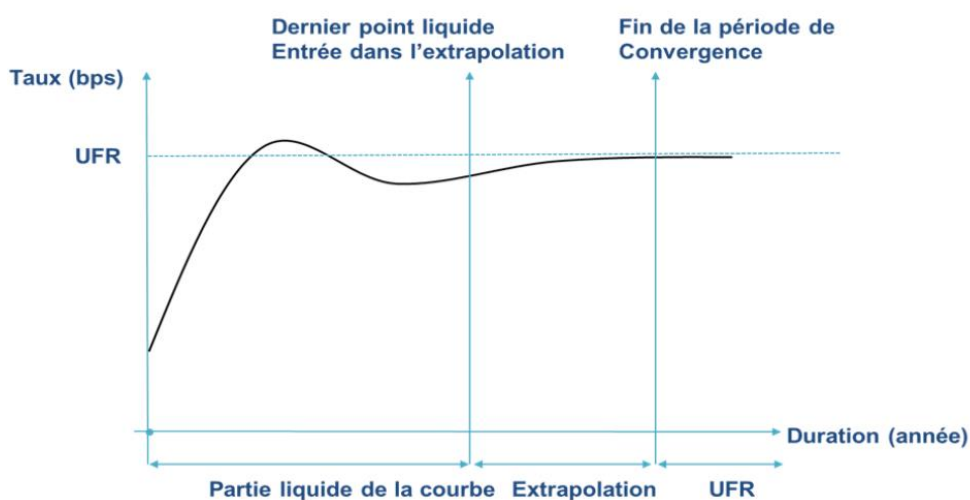


Figure 4.5 : Les éléments de la courbe des taux sans risque (source : ACPR)

Pour les durations inférieures à un an, le taux d'actualisation est identique au taux à un an.

Prime de volatilité (Volatility Adjustment, VA)

Pour l'actualisation des provisions sinistres, le législateur donne la possibilité aux assureurs d'utiliser une courbe de taux intégrant une prime de volatilité :

- définition : Le VA se présente comme une prime sur la partie liquide de la courbe visant à lisser l'effet des mouvements des spreads (hors risque de crédit) sur le bilan prudentiel.
- évaluation : en fonction de deux modules:
 - devise: spread moyen observé au sein d'une zone monétaire entre les taux d'intérêt des obligations de cette zone et le taux sans risque, hors risque de crédit, pondéré par la part d'obligation détenue dans le portefeuille représentatif des assureurs de cette zone monétaire.

- national: temporaire et destiné à atténuer les effets d'un écartement des spreads au sein d'une même zone monétaire pour les marchés concernés. Ce second module se déclenche automatiquement dès lors que le spread moyen national excède 100 points de base (égal à la différence entre le spread national pondéré et deux fois le spread de la zone monétaire pondéré).
- Prise en compte : le ratio d'application est de 65 %.
- Utilisation : elle est optionnelle pour les assureurs. Par ailleurs, le législateur national aura la possibilité de soumettre l'utilisation à une autorisation préalable du superviseur.

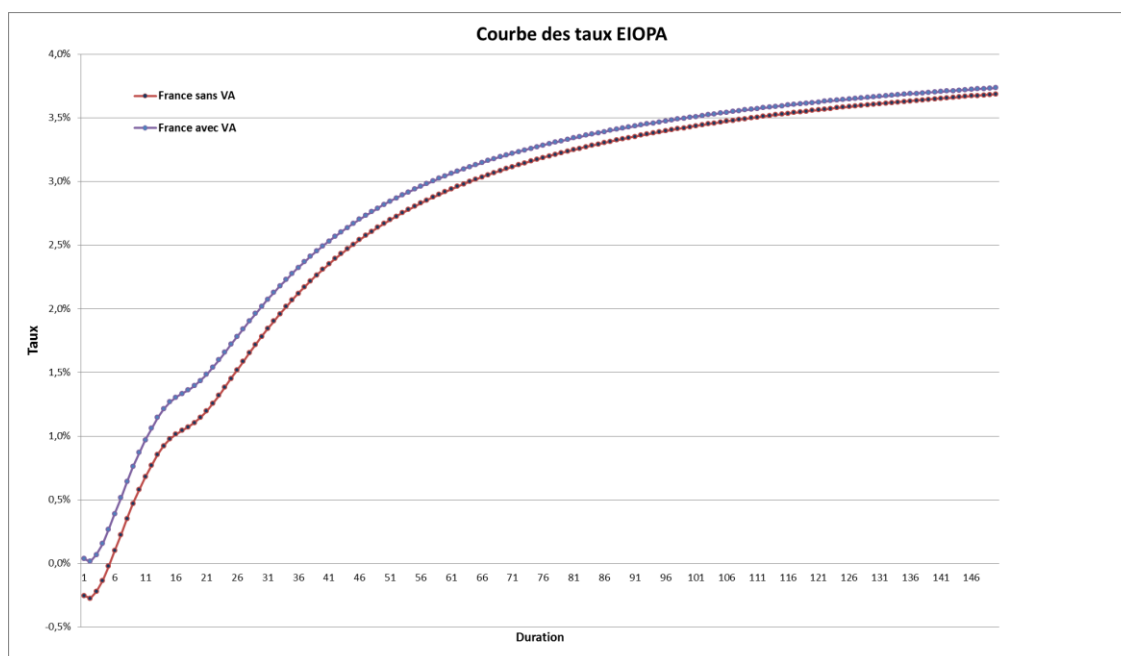


Figure 4.6 : Courbe des taux France (source : EIOPA)

NB. Nous ne traitons pas ici la prime du Matching adjustment qui n'est pas applicable aux passifs des assurances non vie.

4.3.4 Résultats sur les données de marché

Traitements intermédiaires :

Pour compléter l'échantillon des données disponibles⁵³, la série des *links ratios* obtenue par la méthode de *Chain Ladder* est approchée par à une loi de probabilité connue.

Ci-dessous, le détail des traitements intermédiaires pour estimer les ratios de passage à l'ultime :

- sélection des ratios à ajustés (généralement le premier ratio n'est pas retenu dans l'ajustement)
- quatre lois testées : Exponentielle décroissante, Puissance inverse, Puissance et Weibull
- ajustement affine après transformation en retenant le logarithme des observations
- sélection de la loi à partir d'une analyse graphique⁵⁴ et de la valeur du coefficient de détermination R^2 (mesure de la qualité de la prédiction).

	Exponential Decay	Inverse Power	Power	Weibull
R-squared %	99,65%	99,06%	99,50%	98,53%

⁵³ Cf. page 27 : Triangle de liquidation des sinistres corporels graves supérieurs à 500k€

⁵⁴ Cf. annexe 8 : Ajustement des ratios Chain Ladder

Analyse des différents résultats :

En appliquant les principales méthodes de provisionnement sur les triangles RCC Auto⁵⁵ disponibles, nous obtenons les résultats suivants :

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total
Règlements	910	794	746	558	543	401	312	224	118	20	4 626
Charge sinistres	1 291	1 274	1 415	1 266	1 403	1 372	1 514	1 532	1 369	1 053	13 489
Chain Ladder - Charge sinistres Ultimate	1 291	1 274	1 415	1 266	1 404	1 374	1 524	1 572	1 519	1 698	14 336
Charge sinistres Ultimate - Bootstrap	1 293	1 275	1 422	1 275	1 416	1 401	1 568	1 651	1 632	1 819	14 750
Chain Ladder Règlements Ultimes	1 349	1 283	1 343	1 151	1 334	1 235	1 299	1 410	1 353	1 204	12 960
Sinistres ultimes retenues	1 293	1 275	1 422	1 275	1 416	1 401	1 568	1 651	1 632	1 819	14 750
Sinistres en suspens	381	480	669	708	860	971	1 202	1 308	1 251	1 033	8 863
IBNR	2	1	7	9	13	29	54	119	263	766	1 261
PSAP	383	481	676	717	873	1 000	1 256	1 427	1 514	1 799	10 124
IBNR / Outstandings	0,48%	0,25%	1,05%	1,21%	1,45%	2,96%	4,53%	9,07%	21,01%	74,11%	14,23%
Règlements /Ultimate	70,39%	62,27%	52,46%	43,78%	38,36%	28,63%	19,89%	13,57%	7,23%	1,10%	31,36%
Charge sinistres constatée / Ultimes	99,86%	99,91%	99,51%	99,33%	99,12%	97,95%	96,53%	92,81%	83,89%	57,90%	91,45%

En M€

Tableau 4.1 : Calcul des provisions RCC supérieur à 500K€

Ainsi :

- la méthode de Bootstrap appliquée sur le triangle de charge sinistres apparait comme la méthode la plus prudente et la plus adéquate.
- le coût ultime des sinistres RCC supérieur à 500k€ est en net évolution sur la période étudiée, passant de 1 293M€ en 2004 à 1 819M€ en 2013, soit une progression annuelle moyenne de 3,9%.
- au titre de l'exercice 2013, le coût de ces sinistres en ultime devrait atteindre les 1,8Md€
- le taux sinistres tardifs/sinistres en suspens passe de 74% au premier inventaire à 0,48% au dixième inventaire.
- 70% de la charge sinistres par exercice de survenance est réglée en 10 ans.
- plus d'un tiers de la sinistralité ultime est non connu au premier inventaire.

Analyse de la variabilité :

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Moyenne	1 294	1 275	1 421	1 274	1 419	1 398	1 568	1 653	1 630	1 826
Ecart-type	173	183	201	197	217	226	257	275	284	331
Coefficient de Variation	13,35%	14,31%	14,11%	15,46%	15,27%	16,19%	16,37%	16,66%	17,43%	18,12%
Minimum	726	646	759	673	718	717	775	748	824	811
5%	1 017	989	1 105	964	1 083	1 044	1 169	1 224	1 190	1 310
10%	1 073	1 043	1 167	1 027	1 149	1 115	1 251	1 312	1 280	1 411
50%	1 287	1 268	1 411	1 266	1 410	1 387	1 555	1 639	1 614	1 810
70%	1 378	1 367	1 521	1 373	1 524	1 508	1 696	1 783	1 771	1 986
75%	1 406	1 395	1 554	1 402	1 557	1 546	1 737	1 827	1 812	2 035
90%	1 519	1 511	1 684	1 533	1 700	1 691	1 901	2 012	2 003	2 260

Tableau 4.2 : Calcul des ultimes RCC supérieur à 500K€

⁵⁵ Cf. page 27 : Triangle de liquidation des sinistres corporels graves supérieurs à 500k€

Le tableau ci-dessous, illustre la variabilité de la charge ultime donnée par la méthode Bootstrap. Ainsi :

- au titre de l'exercice 2013, la charge sinistres constatée au premier inventaire est inférieure à la charge sinistres ultime correspondante à un quantile de 5%.
- le coefficient de variation est important pour les années récentes
- cette méthode fournit une distribution empirique du montant des provisions à l'ultime :

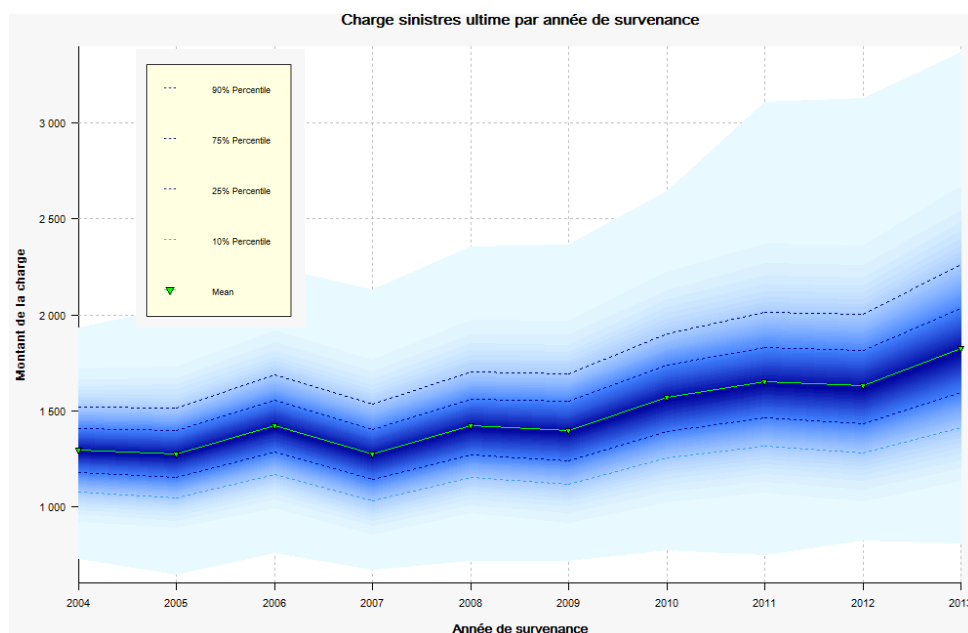


Figure 4.7 : Distribution de la charge sinistres à l'ultime

Actualisation des flux futurs

Le tableau ci-dessous, donne le résultat de l'actualisation des flux futures avec et sans la prime de volatilité :

	Date de survenance	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total	PSAP
	Derniers règlements	910	794	746	558	543	401	312	224	118	20	4 626	
Sans actualisation	Futures règlements	384	481	675	716	876	997	1 256	1 429	1 512	1 806	10 132	10 132
	Ultimes	1 294	1 275	1 421	1 274	1 419	1 398	1 568	1 653	1 630	1 826	14 758	
Actualisation sans VA	Futures règlements	382	479	671	711	870	989	1 245	1 415	1 495	1 783	10 039	10 039
	Ultimes	1 292	1 273	1 417	1 269	1 413	1 390	1 557	1 639	1 613	1 803	14 665	
Actualisation avec VA	Futures règlements	376	471	660	699	855	971	1 223	1 388	1 465	1 744	9 851	9 851
	Ultimes	1 286	1 265	1 406	1 257	1 398	1 372	1 535	1 612	1 583	1 764	14 477	

Tableau 4.3 : Actualisation des règlements futurs

Compte tenu du contexte des taux bas, l'effet de l'actualisation est très limité sur le montant des PSAP. Sur le périmètre de l'étude, l'effet réduction est de 93M€ sans VA et de 280M€ avec VA, soit respectivement de 1% et 3% des PSAP.

4.4 Synthèse

- Les récentes évolutions réglementaires du marché de l'assurance ont un impact direct sur l'appréciation de la charge sinistres et donc sur les processus techniques des compagnies d'assurance, notamment les processus de tarification et de provisionnement.
- La tarification de la RC automobile se décompose en trois parties : la prime sous crête, la prime sur-crête et la prime de réassurance par contrat.
- Pour l'intégration des récentes évolutions dans la tarification, plusieurs options sont offertes. Le choix final dépendra:
 - o de la stratégie tarifaire de l'entreprise : segmentation versus mutualisation
 - o des capitaux propres disponibles : capacité d'absorption d'une dérive de la charge sinistres par rapport à son espérance
 - o de développement des modèles de risque : capacité à modéliser l'espérance et la volatilité à des mailles de business très fines.
 - o Ainsi :
 - le coût supplémentaire de l'indexation des rentes pourrait être directement injecté dans le tarif ou mutualisé sur la totalité du portefeuille.
 - Le besoin en capital en norme solvabilité II pourrait être calculé globalement ou individualisé pour tenir en compte la volatilité intrinsèque des garanties couvertes.
- La RC automobile est une garantie dommages à risque long. Le calcul des provisions fait appel aux méthodes de triangle de liquidation. La variante des méthodes permet d'apprécier l'incertitude qui porte sur le niveau de provisionnement.
- L'analyse du processus de provisionnement au vue des récentes évolutions réglementaires conduit aux conclusions suivantes:
 - o La volatilité liée à l'indexation des rentes n'est pas capté par les PSAP. En effet, les sinistres RC corporels graves sont liquidés dès l'attribution de la rente pour devenir des PM de rentes.
 - o Avec l'indexation des rentes, les compagnies d'assurance non vie ont intérêt de développer des outils de pilotage du stock des rentes en services.
 - o Avec solvabilité II, les flux futurs sont actualisés. La RC automobile est un risque long. L'actualisation réduit logiquement les engagements de l'assureur. Cependant, avec le contexte actuel des taux bas, l'effet actualisation est marginal.

5. La cession du risque à la réassurance

"La réassurance est l'assurance de l'assureur", il s'agit d'une opération par laquelle une entité appelée cédante, et moyennant le paiement d'une prime de réassurance, cède tout ou une partie des risques à une autre entité appelée cessionnaire. C'est l'assurance du risque d'insolvabilité permettant la couverture des risques dépassant les capacités des assureurs. C'est un mécanisme qui permet la dilution des risques sur un nombre important d'assureurs en augmentant la capacité du secteur à absorber les sinistres catastrophiques.

5.1 Les différentes structures de réassurance :

Traditionnellement, on distingue deux modes (obligatoire versus facultative) et formes (proportionnelle versus non proportionnelle) de réassurance. Par ailleurs, certaines clauses types sont présentes dans la plupart des contrats de réassurance.

5.1.1 Modes de réassurance :

Il existe deux modes de réassurance possibles qui fonctionnent de manière complémentaire :

- La réassurance obligatoire couvre des risques homogènes de tout le portefeuille d'une cédante, comme le portefeuille Responsabilité Civile Automobile, Incendie ou autres dommages habitation. Formalisée par contrat appelé traité, elle représente le mode le plus important en termes de chiffre d'affaires.
- La réassurance facultative couvre un ou plusieurs risques spécifiques bien identifiés dans le contrat de réassurance. Utilisée particulièrement pour des risques sur mesure ou spéciaux, elle exige une forte expertise des risques. On distingue:
 - la *FAC* où la cession est facultative pour la cédante et l'acceptation est facultative pour le réassureur
 - la *Fac-ob* où la cession est facultative pour la cédante et l'acceptation est obligatoire pour le réassureur.

5.1.2 Formes de réassurance :

La réassurance proportionnelle :

La réassurance proportionnelle consiste à transférer au réassureur une part égale de primes et de sinistres. Dans cette forme de réassurance, les sorts de la cédante et du réassureur sont liés. Les deux parties partagent les bénéfices et les pertes de l'opération de l'assurance en fonction de leur engagement respectif.

La Quote-part (QP)

L'assureur et le réassureur partagent les primes et les sinistres d'une catégorie de risques avec un pourcentage équivalent fixé à l'avance.

Les traités en quote-part (*Quota share*) sont fréquemment utilisés par des jeunes compagnies qui ont des capacités limitées en fonds propres et qui n'ont pas le recul nécessaire sur les résultats techniques (par exemple pour le lancement de nouveaux produits). Ces traités sont aussi très utiles pour accroître la marge de solvabilité

L'excédent de pleins (XP)

La cédante transfère uniquement les risques avec un montant de garantie dépassant un niveau de capital fixé d'avance appelé plein de rétention *Pr*. Le réassureur perçoit sur chaque risque couvert, un

taux de prime correspondant à la proportion du dépassement accepté dans le capital assuré C_a . Le même taux est utilisé pour le partage des sinistres T_s .

Ainsi le taux de partage par police est donné par :

$$Tp = Ts = \frac{C_a - Pr}{Pr}$$

Les traités en excédent de pleins (*Surplus share en anglais*) permettent l'assureur de garder les petits risques qui ne dépassent pas son plein de conservation. Ce type de traité est souvent utilisé pour les risques sur-mesure compte tenu de la lourdeur de leur gestion.

La réassurance non proportionnelle :

La réassurance non proportionnelle consiste en un transfert au réassureur des sinistres ou des pertes de la cédante qui dépassent un seuil défini à l'avance. Le réassureur percevra en contrepartie un pourcentage de la prime. Dans le système de réassurance non proportionnelle, les sorts de la cédante et du réassureur sont moins liés que la réassurance proportionnelle. En effet, au cours du même exercice de survenance, l'opération de réassurance peut être bénéficiaire pour le réassureur et non pour l'assureur qui enregistre plusieurs sinistres de faible montant. Inversement, le solde de l'opération peut être déficitaire pour le réassureur en cas de survenance d'un ou plusieurs sinistres de forte intensité.

Excédent de sinistre (XS)

Le réassureur prend en charge le montant de sinistre qui dépasse un seuil d'intervention, appelé la priorité du traité. La limite d'intervention du réassureur par sinistre est appelée le plafond du traité. La différence entre le plafond et la priorité constitue la garantie du traité. Le traité XS est noté par « la garantie XS la priorité ». Pour l'exemple ci-dessous on écrira 10M€ XS 20M€ :

Notons C_s la charge conservée et C_c la charge cédée, dans ce cas :

Si $X_i = 10$ M€ alors $C_s = 10$ et $C_c = 0$

Si $X_i = 25$ M€ alors $C_s = 20$ et $C_c = 5$

Si $X_i = 40$ M€ alors $C_s = 30$ et $C_c = 10$

Le traité en excédent de sinistre (*Excess of loss*) couvre une branche de portefeuille ou une catégorie de risques homogènes de la cédante contre la survenance d'un sinistre (conservation par risque) ou d'un événement dépassant la priorité du traité. Les traités XS permettent à l'assureur de se protéger contre les sinistres de pointe (exemple un sinistre corporel automobile) et les événements catastrophiques (exemple de dommages habitation d'une tempête centennale).

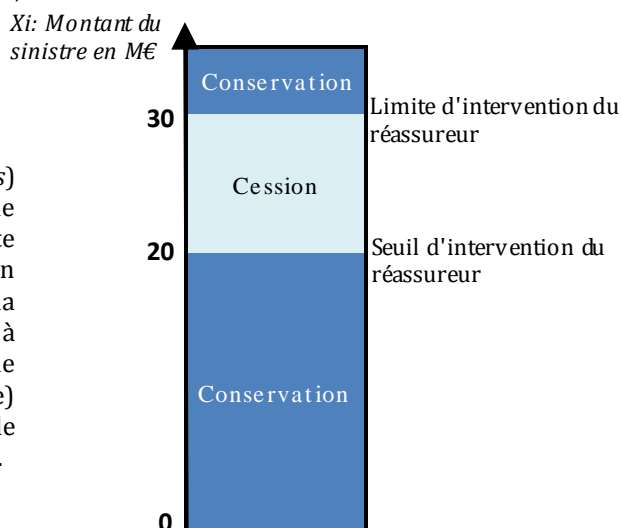


Figure 5.1 : Exemple du traité 10M€ XS 20M€

Excédent de perte (SL)

Le traité excédent de perte (*Stop Loss en anglais*) est une forme de réassurance non proportionnelle permettant à l'assureur de se couvrir contre les mauvais résultats techniques d'une branche ou catégorie de risque. La priorité et le plafond du traité SL sont généralement exprimés en fonction d'un ratio sinistres sur primes de la cédante (par exemple pour le traité 15 % SL 125 % le réassureur intervient lorsque le ratio de perte devient supérieur à 125 % des primes acquises et jusqu'à une perte allant jusqu'à 140%). En pratique, la couverture des dommages RCC Automobile s'intègre dans un traité non proportionnel RC Automobile spécifique ou un traité RC global.

5.2 Les clauses tarifaires :

Le « wording » du traité contractualise la relation entre assureur et réassureur. Il spécifie notamment l'étendue de la couverture, la territorialité, la mise en jeu de la couverture (tranche de couverture), les primes, les sinistres couverts, le nantissement et la durée du traité.

Les traités en excédent de sinistres RCC Automobile intègrent des clauses qui conduisent à majorer ou à minorer le taux de réassurance appliqué par le réassureur. Parmi ces clauses, on note particulièrement celles relatives aux calculs des engagements.

5.2.1 Les clauses standards

La clause de reconstitution de garantie (*Reinstatement*)

Dans un traité non proportionnel, le réassureur couvre la portée du traité en cas de survenance d'un sinistre. La cédante pourrait être exposée à la survenance d'un deuxième voire un troisième sinistre. La clause de reconstitution permet de reconstituer les conditions de couverture initiales après la survenance d'un sinistre. La clause de reconstitution de garantie s'applique dès que la portée du traité a été partiellement ou totalement consommé par un sinistre. Le nombre de reconstitutions peut être limité ou illimité. La reconstitution peut être gratuite ou payante moyennant une prime additionnelle définie généralement en pourcentage de la prime initiale et de la durée restant à couvrir.

En pratique, les traités RCC Automobile fonctionnent avec des reconstitutions illimitées et gratuites.

La clause engagement annuel maximum (*Annual Aggregate Limit - AAL -*)

Cette clause limite l'engagement du réassureur sur la période de référence du traité. Quand le traité prévoit N reconstitutions de garantie, l'assureur s'engage à couvrir au maximum N+1 fois la portée durant la période de couverture.

La clause de franchise annuelle (*Annual Aggregate Deductible - AAD -*)

Le réassureur intervient lorsque le montant cumulé des sinistres à céder au réassureur (supérieurs à la priorité) dépasse un seuil appelé franchise annuelle.

Exemple pour un traité 20M€ XS 10M€ AAD 15M€ :

Xi: Montant du sinistre en M€

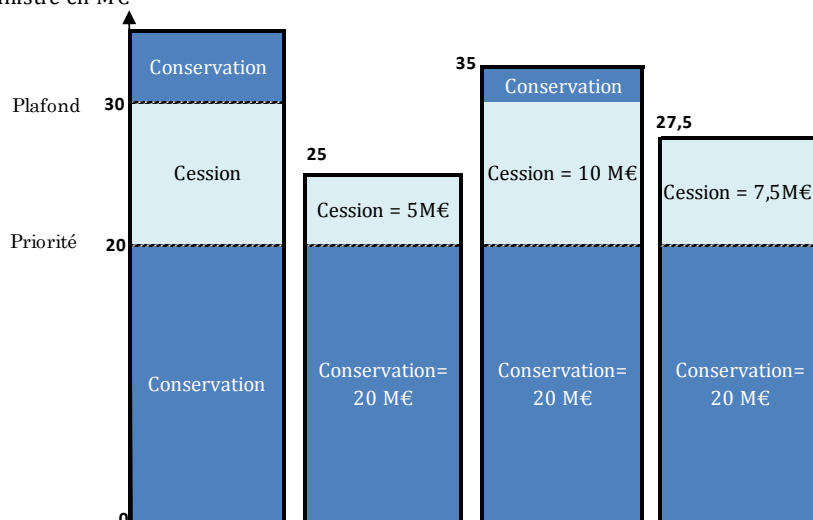


Figure 5.2 : Exemple de l'AAD de 15M€ sur un traité 20M€ XS 10M€

Le réassureur intervient à partir du troisième sinistre :

$$S_n = \text{Max} (0 ; \text{somme}(\max(X_i - P; P - p) - \text{AAD}) = 7,5\text{M€}$$

S_n représente la charge annuelle cédée au réassureur

Cette clause est basée sur une assiette annuelle incluant plusieurs événements dans l'année. Elle diminue l'engagement du réassureur et donc le coût de la réassurance. L'assureur optimise l'achat de la réassurance en se couvrant davantage contre la répétition d'événements exceptionnels.

5.1.2 Les clauses spécifiques RCC

La clause de stabilité

Dans cette clause, l'assureur et le réassureur entendent que la priorité de la cédante et la limite d'engagement du réassureur (par sinistre, par événement ou par année de survenance) conservent leur valeur relative au jour de la prise d'effet du traité. Ainsi, le montant du sinistre est partagé entre les deux parties dans le même rapport que celui qui aurait été retenu si l'indice de référence (défini dans la clause) est stable. Généralement, la stabilisation des coûts est appliquée aux règlements associés à des valeurs d'indices accusant un écart supérieur à $x\%$ par rapport à « l'indice de référence ».

Exemple numérique :

Traité : ILLIMITEE XS EUR 10M€

Indice de base	141
Marge de 15% soit indice de 162,15	

1- Règlement de 2 500 000 €, avec indice de 150,90 (indice inférieur à l'indice de base majoré de 15% : 162,15)

2- Règlement de EUR 3 500 000 €, avec indice de 163,5 (indice supérieur à l'indice de base majoré de 15% : 162,15)

3- Règlement de 5 000 000 €, avec indice de 164,92 (indice supérieur à l'indice de base majoré de 15% : 162,15)

4- Provisions pour sinistres à payer au 31/12 de 2 500 000 €, avec indice de 177,0

	Règlements et provisions pour sinistres à payer (montant en €)	Indice	Montants indexés en €	Calcul (montant en million d'€)
1°	2 500 000	150,9	2 500 000	Pas d'indexation
2°	3 500 000	163,5	3 471 101	$(3,5 * (162,15 / 163,5))$
3°	5 000 000	164,9	4 916 020	$(5 * (162,15 / 164,92))$
4°	2 500 000	177,0	2 290 254	$(2,5 * (162,15 / 177,0))$
Total	13 500 000		13 177 375	

Stabilisation de la priorité 10 244 832 $(10 * (13,50 / 13,17))$

Sinistre à charge de la réassurance (sommes réelles et limites stabilisées en €)

13 500 000 - 10 244 832 = 3 255 168 à charge des réassureurs

(dont 755 168 sinistres payés (11 000 000 - 10 244 832))

(dont 2 500 000 sinistres en suspens)

Figure 5.3 : Exemple de clause de stabilité

Clause de rentes indemnitaires

Le réassureur participe à l'indemnisation de la rente par le versement de sa part soit du capital constitutif (débit immédiat ou rachat immédiat) soit de la rente versée (suivi additionnel) après application de la clause de stabilité.

Cette clause précise au moins les éléments suivants :

- Obligation d'information du réassureur en cas de rente : L'assureur informe le réassureur sur les rentes individuelles au moment où celles-ci viennent d'être attribuées de manière amiable ou judiciaire avec les indications suivantes : Postes de préjudice concernés, montant de l'arrérage; indexation ou actualisation du montant des arrérages, nombre d'arrérages par an, date du premier arrérage; montant du capital constitutif, taux d'actualisation, taux d'indexation des rentes, période sur laquelle le taux d'actualisation est appliqué, table de mortalité.
- Détermination du capital constitutif : Les caractéristiques de la rente sont généralement celles décidées lors de son attribution. Le capital constitutif de la rente est calculé à partir d'un arrérage, à la date d'attribution de la rente en utilisant la table de mortalité et les taux de capitalisation définis aux Conditions Particulières.
- Dispositions en cas de réouverture : Généralement, les cas de réouverture sont limités à une période de 10 années suivant la date d'attribution initiale de la première rente (jugement, arrêt, changement de situation ou transaction amiable). Durant cette période, la réouverture est possible dans les cas de figure décrits dans cette partie (aggravation de l'état de santé, décès ou évolution réglementaire).

5.3 Analyse du marché de la réassurance

5.3.1 Cycle de réassurance

La réassurance est caractérisée par un cycle d'activité pluriannuel. La sinistralité constatée sur les périodes de couverture écoulées et la confrontation de l'offre et de la demande de la réassurance donnent le tempo d'un cycle sur la base d'un niveau de taux de primes.

La tendance favorable du cycle est observée lors d'une amélioration des résultats techniques. Le ROE devient alors très avantageux pour attirer de nouveaux investisseurs ou apporteurs de capacités. Dans ce cas, la croissance de l'offre qui se traduit par un excès de capacité, engendre une baisse progressive du taux de primes. Les prix baissent jusqu'à un point où le prix de couverture devient non rentable pour des nouveaux entrants. Inversement, la dégradation des résultats et le retour à des politiques de souscription rigoureuse entraînent une phase haussière du cycle.

Le principe des cycles est simple, l'activité de réassurance évolue sous forme sinusoïdale avec des hauts et des bas de cycles.

5.3.2 Les facteurs influant le marché de réassurance

Le schéma suivant présente les principales forces en présence qui influencent le marché de réassurance :

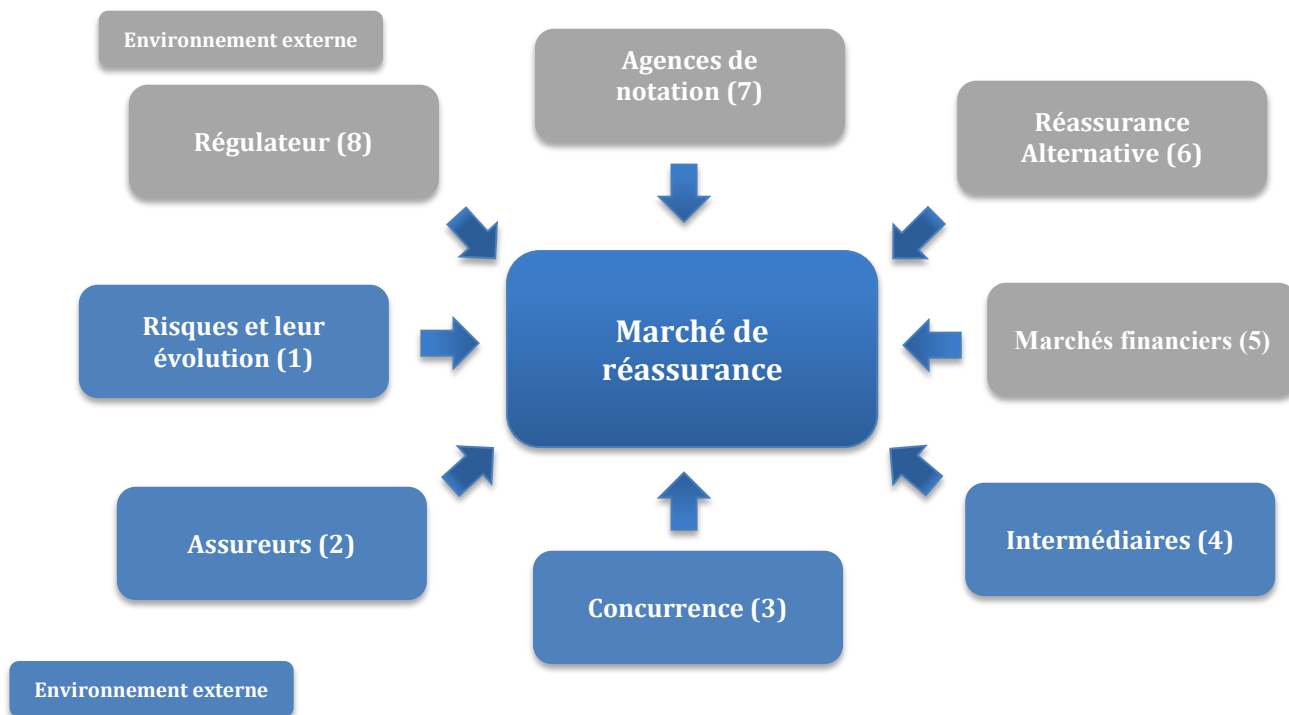


Figure 5. 4 : Les facteurs du marché de la réassurance

- (1) On retrouve particulièrement les risques catastrophiques, nouveaux ou incertains. On note ces dernières années, l'accélération de période de retour des événements naturels, l'apparition de nouveaux risques liés aux mutations technologiques et l'évolution de la jurisprudence en faveur des victimes pour les risques de responsabilité.
- (2) Les assureurs cherchent à rationaliser leur besoin en réassurance en fonction de leur capacité et leur appétence aux risques. On observe ces dernières années une concentration des acteurs qui a permis une centralisation de l'achat de la réassurance (exemple de Covéa Ré qui achète de la réassurance pour le compte de MMA, GMF et MAAF)
- (3) Le nombre et la taille des concurrents influencent le niveau de tarification et les conditions des traités. Les nouveaux entrants qui apportent de la capacité font une pression baissière sur le taux de prime (cf. cycle de réassurance). De même, les mouvements de fusion acquisition sur le marché font une pression haussière sur le tarif.
- (4) Les courtiers en réassurance placent les risques pour le compte des assureurs. Ils apportent une expertise technique aux assureurs par l'analyse de leurs expositions et la proposition de couverture aux meilleures conditions. Ils peuvent avoir des mandats pour la gestion des sinistres et la comptabilité des traités.
- (5) L'interaction entre marché de réassurance et marché financiers et de deux natures,
 - d'une part, la baisse de la rentabilité financière des placements exerce une pression haussière sur les taux de primes appliqués par les réassureurs.
 - d'autre part, la capitalisation boursière des réassureurs influence sur leur capacité de souscription. Ainsi, une chute de leur cours diminue l'offre de réassurance.

- (6) Les instruments alternatifs de réassurance font appel aux marchés financiers en recourant au mécanisme de titrisation des risques (Cat Bond, Side cars, mortality bond...). Ces produits apportent une capacité financière très large permettant de compléter l'offre de réassurance. On constate ces dernières années un fort développement de ces produits en raison de la demande des investisseurs souhaitant diversifier leurs risques.
- (7) La notation des réassureurs a un impact significatif sur le choix des assureurs qui sont à la recherche d'une sécurité financière de qualité. Par conséquent, les réassureurs qui affichent une bonne notation, proposent des taux de primes plus élevés que la moyenne du marché.
- (8) Le régulateur détermine les règles du marché en vérifiant l'adéquation des fonds propres aux risques couverts. La nouvelle réglementation solvabilité II permet de tenir en compte les réserves du réassureur ainsi que ses pratiques de risk management.

5.3.3 La prime de réassurance

En dehors de l'effet marché qui exerce des pressions à la hausse ou à la baisse, la prime de réassurance intègre les éléments suivants :

- coût moyen du risque transféré ou prime pure : espérance de la charge cédée au réassureur
- marge de sécurité : cette marge permet de couvrir un écart par rapport à la charge cédée moyenne. Elle reflète l'incertitude qui pèse sur le modèle.
- frais de courtage et/ou commissions de réassurance : ils permettent de couvrir les frais d'intermédiation et/ou les frais de gestion des sinistres cédés.
- frais de gestion : coût de gestion de l'opération pour le réassureur
- marge bénéficiaire : rémunération demandée par les actionnaires ou retour sur capitaux immobilisés souhaité par le réassureur

Souvent exprimée par un taux qui est appliqué sur une assiette de primes, la prime commerciale s'écrit comme suit :

$$T_{PC} = T_{pp} \times \frac{(1 + x\% * \text{écart type})}{(1 - c) \times (1 - m)}$$

Avec :

T_{PC} : Taux commercial

T_{pp} : Taux technique

x : niveau de marge de sécurité exprimé en pourcentage de l'écart type de la charge de sinistres cédée

c : Taux des frais de courtage

m : taux des frais de gestion et de la marge bénéficiaire du réassureur

Exemples de chargements appliqués en RC :

$x=25\%$

$c=10\%$

$m = 15\%$ de marge bénéficiaire et de frais de gestion

5.4 Cotation du risque selon l'approche du réassureur

La cotation du traité XS RC du point de vue d'un réassureur doit tenir compte de plusieurs ingrédients : la prime pure moyenne du risque, l'incertitude qui pèse sur la moyenne, les

caractéristiques du traité (limite, priorité), les conditions du traité, les frais de gestion et les conditions du marché⁵⁷ (ainsi que la vitesse de règlement des sinistres).

5.5.1 Méthode historique

Une méthode assez simple en réassurance consistait à utiliser le coût moyen historique observé sur les années passées. Appelé taux de flambage (*burning cost* en anglais), il se calcule en rapportant le coût des sinistres pris en charge par le réassureur au total des primes perçues par le cédant.

Notations :

S_k = Sinistralité sur la tranche de l'année k

E_k = l'encaissement de l'année k

$BC_k = S_k / E_k$

Deux calculs peuvent être utilisés :

- Moyenne des Burning Cost : $m_{BC} = \frac{(\sum_{k=1}^n BC_k)}{n}$
- Burning cost moyen : $BC_m = \frac{(\sum_{k=1}^n S_k)}{(\sum_{k=1}^n E_k)}$

Cette méthode a le mérite d'être simple à calculer, et ne nécessite donc aucun investissement en modélisation. Par ailleurs, elle donne une bonne approximation du coût des tranches basses lorsqu'on dispose d'un historique suffisamment significatif.

Cependant cette méthode trouve ses limites pour les tranches hautes et intermédiaires où l'on dispose de peu de recul historique. Dans le même sens, la méthode du BC ne tient pas compte des sinistres exceptionnels, de l'évolution du profil du risque et des conditions de la politique de souscription du réassureur.

5.5.2 Méthode DFA

La méthode de cotation des traités de réassurance par simulation est basée sur le modèle du montant cumulé des sinistres. La charge de sinistres réglée par le réassureur est déterminée par le nombre de sinistres (intensité du risque), le montant des sinistres (la sévérité du risque), la vitesse de paiement de l'assureur, la priorité du traité ainsi que son plafond.

La priorité et la limite sont des paramètres connus d'avance qui sont établis lors de la souscription du traité. Le nombre et le montant de sinistres sont des variables aléatoires, pour lesquelles on procède à des ajustements sur la base des réalisations passées. Concernant la vitesse de paiement de l'assureur, on retient la cadence constatée dans la liquidation des provisions.

⁵⁷ Rémunération demandée par les actionnaires et la confrontation offre et demande de marché

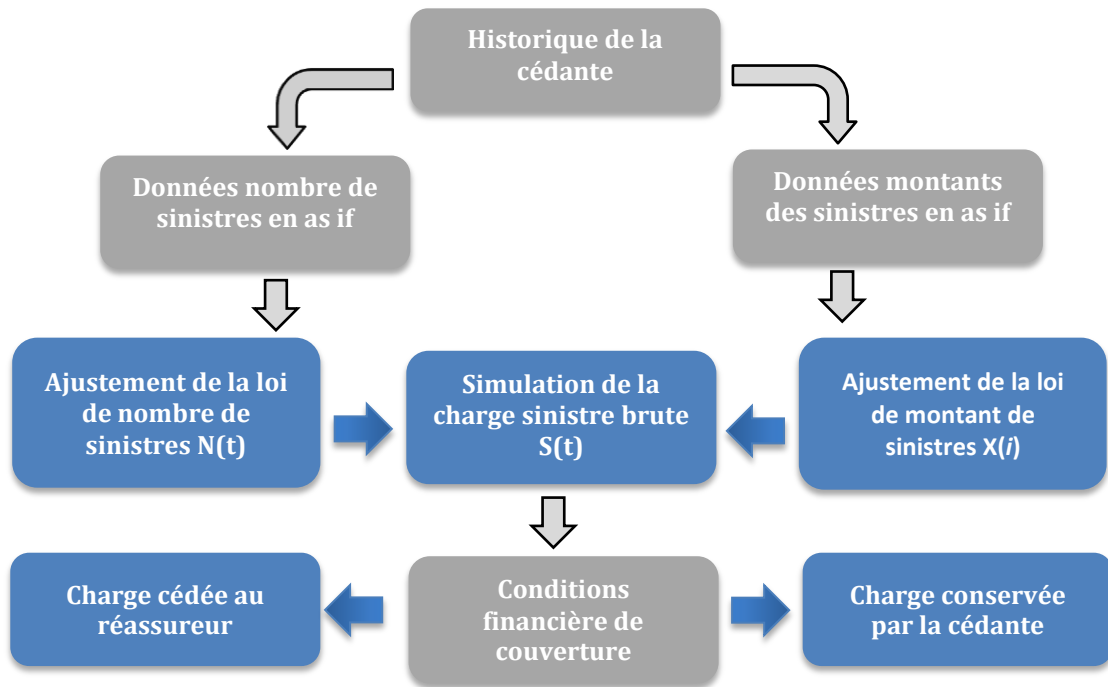


Figure 5.5 : Les étapes de modélisation de la couverture

Notations :

- p : priorité du traité
- P : plafond du traité
- G : Garantie du traité $(P-p)$
- N : nombre annuel de sinistres supérieur à la priorité
- X_i : coût du i ème sinistre de l'année supérieur à la priorité
- S : charge annuelle du traité

Sous les deux hypothèses :

$H1$: Indépendance de la fréquence (N) des montants de sinistres (X_i) .

$H2$: Indépendance et stationnarité des montants de sinistres⁵⁸.

On peut calculer l'espérance de la charge du réassureur en XS :

$$E(S) = E(N) \cdot E(X_i)$$

$$E(X_i) = \min(G; \max(0; x - p))$$

$$E(X_i) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq p \\ x - p & \text{si } p < x < P \\ G & \text{si } x \geq P \end{cases}$$

$$E(X_i) = \int_0^p 0 \cdot f(x) dx + \int_p^P (x - p) \cdot f(x) dx + \int_P^{+\infty} G \cdot f(x) dx$$

⁵⁸ Les variables X_i sont indépendants et identiquement distribuées (iid).

$$E(X_i) = \int_p^P (x - p) f(x) dx + G \cdot [1 - F(P)]$$

$$E(X_i) = \int_0^P x f(x) dx - \int_0^p x f(x) dx - p[F(P) - F(p)] + G \cdot [1 - F(P)]$$

$$E(X_i) = \int_0^P x f(x) dx + P[1 - F(P)] - \int_0^p x f(x) dx - p[1 - F(p)]$$

Ainsi on calcule l'espérance de la charge du traité :

$$E(S) = E(N) \cdot \int_0^P x f(x) dx + P[1 - F(P)] - \int_0^p x f(x) dx - p[1 - F(p)]$$

Préparation des données

Comme pour chaque étude actuarielle, la préparation des données est une étape cruciale pour la robustesse du modèle et la pertinence des résultats de la modélisation. Les deux séries qu'on cherche à modéliser (N et X_i) sont issues de l'historique de sinistralité de la compagnie. Elles nécessitent un certain traitement avant leur utilisation dans l'ajustement des lois de probabilité : nous disposons de données par année de survenance en vision à date et nous avons besoin de ces données en vision ultime.

Ainsi pour le nombre de sinistres RCC il faudra procéder aux traitements suivants:

- Actualisation de la fréquence en ramenant le nombre de sinistres par année de survenance des années antérieures au portefeuille de l'exercice courant.
- Prise en compte d'une tendance éventuelle.
- Estimation de nombre des tardifs pour les exercices récents.

Concernant les montants des sinistres RCC en vision ultime, il faudra procéder aux transformations suivantes :

- Indexation des montants réglés pour prendre en compte l'inflation historique,
- Prise en compte d'une hyperinflation liée à des évolutions réglementaire ou jurisprudentielle (évolution des postes de préjudices),
- Intégration de l'impact de l'évolution des pratiques de provisionnement de la compagnie d'assurance (changement de taux d'escompte ou table d'indemnisation)
- Projection des boni/mali et des recours futurs⁵⁹

Lois de probabilité

Un ensemble de lois de probabilité⁶⁰ est couramment testés pour ajuster la loi du nombre de sinistres et la loi du montant de sinistres.

- **Nombre de sinistre**

Loi Binomiale

Si la variable N suit une loi de Binomiale de paramètre (n, p) , alors les valeurs de N sont des entiers naturels k avec la probabilité :

⁵⁹ Ce traitement pourra être appliqué via une chaîne de Markov

⁶⁰ La liste des lois testées ici n'est pas exhaustive

$$P(N = k) = C_n^k p^k (1 - p)^{n-k} = \frac{m! p^k (1 - p)^{m-k}}{k! (m - k)!}$$

Les deux premiers moments sont donnés par :

$$E(N) = np \quad \text{et} \quad V(N) = np(1 - p)$$

Loi de poisson

Appelée aussi loi des événements rares et sans mémoire avec des pas de temps réguliers. Si la variable N suit une loi de poisson de paramètre $\lambda > 0$, alors les valeurs de N sont des entiers naturels k avec la probabilité :

$$P(N = k) = \frac{\lambda^k}{k!} \exp^{-\lambda}$$

Dans ce cas : $E(N) = V(N) = \lambda$

Loi binomiale négative :

Si la variable N suit une loi binomiale négative (n, p) , alors les valeurs de N sont des entiers naturels k avec la probabilité :

$$P(N = k) = C_{k+n-1}^k p^n (1 - p)^k = \frac{m! p^k (1 - p)^{m-k}}{k! (m - k)!}$$

L'espérance et la variance sont données par :

$$E(N) = \frac{n(1 - P)}{p} \quad \text{et} \quad V(N) = \frac{n(1 - P)}{p^2}$$

- **Montant des sinistres**

L'ajustement des lois de probabilité des montants de sinistre fait appel aux modèles statistiques des valeurs extrêmes⁶¹. On modélise les sinistres d'intensité qui dépassent un certain seuil (priorité par exemple).

Pareto

Si la variable X suit une loi de Pareto de paramètres (x_0, α) , la fonction de répartition se présente ainsi :

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq x_0 \\ 1 - \left(\frac{x}{x_0}\right)^{-\alpha} & \text{si } x > x_0 \end{cases}$$

La loi admet comme fonction de densité :

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq x_0 \\ \alpha x_0^\alpha x^{\alpha-1} & \text{si } x > x_0 \end{cases}$$

⁶¹ CHARPENTIER A., LES MODÈLES EN RÉASSURANCE, Risques n° 80 / Décembre 2009

L'espérance est donnée par :

$$E(x) = x_0 \frac{\alpha}{(1 - \alpha)} \quad \text{si } \alpha > 1 \text{ (si } \alpha \leq 1 \text{ l'espérance est infinie)}$$

La variance est donnée par :

$$V(x) = x_0^2 \frac{\alpha}{(\alpha - 1)^2(\alpha - 2)} \quad \text{si } \alpha > 2 \text{ (si } \alpha \leq 2 \text{ la variance est infinie)}$$

Loi log-normale

Si la variable $X = \ln(Y)$ suit une loi de log-normal, alors la variable Y suit une loi normale de paramètres (μ, σ^2) . Dans ce cas la distribution de Y est caractérisée par :

$$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left[\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma\sqrt{2}} \right] \quad \text{avec erf fonction d'erreur}$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\log(x) - \mu}{\sigma} \right)^2 \right)$$

$$E(x) = \exp \left(\mu + \frac{\sigma^2}{2} \right)$$

$$V(x) = \exp(2\mu + \sigma^2) (\exp(\sigma^2) - 1)$$

Loi exponentielle :

Si la variable X suit une loi exponentielle de paramètre β , alors la variable est caractérisée par :

$$F(x) = 1 - \exp \left(-\frac{x}{\beta} \right)$$

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp \left(-\frac{x}{\beta} \right)$$

$$E(x) = \beta$$

$$V(x) = \beta^2$$

Loi de Gamma :

Si la variable X suit une loi de Gamma de paramètres (x_0, α, β) , la fonction de répartition se présente ainsi :

$$F(x) = \Gamma \left(\beta; \frac{x - x_0}{\alpha} \right) \quad \text{avec} \quad \Gamma(x) = \int_0^{\infty} x^{(\alpha+1)} e^{-x} dx$$

La loi admet comme fonction de densité :

$$f(x) = \frac{\lambda^\alpha x^{(\alpha-1)} e^{-\lambda x}}{\Gamma(\alpha)}$$

$$E(x) = \frac{\alpha}{\lambda}$$

$$V(x) = \frac{\alpha}{\lambda^2}$$

Loi de Weibull :

Si la variable X suit une loi de Weibull de paramètres (x_0, α, β) , la fonction de répartition se présente ainsi :

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^\beta\right)$$

La loi admet comme fonction de densité :

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{x-x_0}{\alpha}\right)^\beta\right)$$

$$E(x) = \mu = \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

$$V(x) = \alpha^2 \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \mu^2$$

Choix de la loi :

Les 2 lois les plus fréquemment utilisées pour la modélisation des sinistres RCC sont la loi de Pareto et la loi Log normale. En effet, ces lois sont caractérisées par la simplicité de leurs expressions analytiques et par des distributions qui convergent plus lentement vers 0.



Queue de distribution de plus en plus lourde

Estimation des paramètres des lois :

Deux méthodes sont possibles :

Méthode des moments : cette méthode utilise la définition des moments de la loi en fonction des paramètres afin de déterminer ces derniers. Elle suppose l'égalité entre moments théoriques et empiriques correspondants puis, en résolvant les équations obtenues, on exprime les paramètres en fonction des moments théoriques. Cette méthode présente l'avantage de la simplicité.

Méthode de maximum de vraisemblance : Cette méthode consiste à maximiser une fonction appelée fonction de vraisemblance, contenant le paramètre que l'on souhaite estimer.

Fonction de vraisemblance, pour un n-échantillon $(x_1, x_2, \dots, x_3, \dots, x_n)$:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_3, \dots, x_n; \theta) = f(x_1; \theta) \times f(x_2; \theta) \dots \times f(x_n; \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta)$$

Les paramètres sont obtenus en dérivant la dernière expression par rapport à la variable d'intérêt :

$$\frac{\partial L(x_1, x_2, \dots, x_3, \dots, x_n; \theta)}{\partial \theta} = 0$$

Cette méthode présente l'avantage⁶² d'être plus rigoureuse sur les résultats.

⁶² Cependant, l'utilisation d'algorithmes complexes est indispensable pour certaines lois

Test d'adéquation

Soit :

H0 : La population suit la distribution x

H1 : la population ne suit pas la distribution x

Test d'ajustement du Khi-deux

Le test fractionne le domaine de la distribution en classes. Dans chaque classe, on calcule à partir de la loi spécifiée sous H0 la fréquence théorique attendue.

Notations :

m = Nombre de classes

n = Nombre de sinistres

N_i = Effectif observé de la i ème classe

P_i = Proba (X soit dans la i ème classe)

On appelle distance du *Khi-2* entre la loi théorique et la loi observée la quantité:

$$D(F; Fn) = \sum_{i=1}^n \frac{(N_i - np_i)^2}{np_i} = \chi^2_{obs}$$

Supposons que l'on divise la distribution en m classes. Soit une classe « i » donnée. La fréquence théorique attendue pour la classe « i » est $E_i = np_i$.

Si $\chi^2_{obs} \leq \text{Seuil} = \chi^2_{m-1, \alpha}$ on accepte H_0

Où $m-1$ est le nombre de degrés de liberté et α seuil de tolérance ou risque de 1^{ère} espèce. Les valeurs critiques sont lues dans la table de la loi de *Khi-2* avec $m-1$ degré de liberté.

Le choix et le nombre de classes sont arbitraires. Néanmoins, pour l'approximation de la loi de *Khi-2*, il est recommandé que les effectifs théoriques dans chacune des classes soient au moins égal à 5.

Test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov

Le test consiste à comparer la fonction de distribution empirique à la fonction de distribution théorique en mesurant la différence maximale entre ces deux fonctions (en valeur absolue).

La fonction de répartition empirique s'obtient facilement en classant les valeurs par ordre croissant, x_1, x_2, \dots, x_n , puis en notant :

$$F_e(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x < x_1 \\ \frac{i}{n} & \text{si } x_1 \leq x < x_{i+1} \\ 1 & \text{si } x \geq x_n \end{cases}$$

$F_e(x)$ est la proportion des observations dont la valeur est inférieure ou égale à x .

On calcule la différence maximale par :

$$D_{max}(|F_i(x) - F_e(x)|)$$

Le maximum se trouvant nécessairement à un des x_i dû à la forme en escalier de la fonction $Fe(x)$. $Ft(x)$ est la distribution théorique de la distribution entièrement spécifiée sous H_0 . D_{max} est la variable de décision⁶³ du test.

Les valeurs critiques de D_{max} sont déjà tabulées (Lindgren, 1962).

Ce test s'applique à tous les types de distributions (discrètes et continues). Il est normalement plus puissant que le test du Khi-deux (i.e. il permet de rejeter plus facilement H_0) et il présente l'avantage de ne pas nécessiter de diviser arbitrairement la distribution en classes.

5.5 La couverture du risque rentes Automobile

5.5.1 Les solutions en réassurance

Plusieurs solutions de couverture sont proposées par la réassurance.

A- Rachat des rentes

Cette couverture est généralement intégrée dans les traités XS RC Automobile sous forme d'une clause. Le réassureur rachète les rentes au taux contractuel fixé d'avance (exemple taux d'escompte de 2,5%). L'assureur récupère le montant du rachat de la rente dès l'attribution ou après une décision de justice. Pour les sinistres en suspens, le réassureur provisionne ces sinistres sur la base des conditions de rachat ou sur la base d'une méthode spécifique convenue avec la cédante.

Exemple numérique :

Caractéristiques de la couverture de réassurance :

Rentes	Priorité	Taux d'escompte	Table de mortalité
Rachat	1 000K€	1,50%	TD 88-90

Simulation avec un sinistre de référence RCC :

En k€	Année de survenance T=0	Année de consolidation (T=5 ans)	
	Calcul brut	Calcul brut	Calcul réassurance
Capital constitutif de rente hors indexation*	911	1 307	1 201
Coût de l'indexation (moy. simulation)	294	421	0
Autres préjudices (réglés en t=0)**	815	815	815
Total	2 020	2 543	2 016

(*) CCR référence vue à fin 2015 = $811 * (1+6)^2$

(**) Coût moyen de référence - CCR de référence = $(1536 * (1+6)^2) - 911$

En k€	Avant clause de stabilité	Après clause de stabilité**
Cession réassurance (coût sinistres - priorité)*	1 016	988
Conservation théorique*	1 526	1 555
Total	2 543	2 543

(*) A l'inventaire de la date consolidation (5 ans)

(**) La priorité stabilisée s'élève à 1 029k€

Figure 5.6 : Exemple rachat des rentes

⁶³ Ou la fonction discriminante

Avantages

- Le coût de gestion des traités de réassurance est réduit au maximum
- Encaissement des montants correspondants aux cessions immédiatement
- Le placement de la trésorerie permet dégager des produits financiers.
- Le risque de contrepartie qui porte sur les engagements du réassureur est limité compte tenu de la durée d'exposition faible

Inconvénients

- Exposition élevée aux risques techniques de base :
 - dérive du taux d'escompte par rapport aux hypothèses initiales
 - allongement de l'espérance de vie du rentier
- Ce schéma de cession ne permet pas la couverture de la revalorisation des rentes. Même avec taux contractuel très bas, cette dernière est faiblement couverte.
- L'indexation des rentes correspondantes à des sinistres dont le montant est inférieur à la priorité du traité est non couverte. Dans le même sens, les révisions et les dépassements de priorité intervenant post-clôture ne sont pas couverts.
- Le risque de marché associé au placement de la trésorerie récupérée.

B- Suivi additionnel des rentes

Le réassureur intervient à partir de la consolidation du sinistre jusqu'à l'extinction de la rente. Il prend en charge les dépassements de la priorité y compris la revalorisation des rentes. Le réassureur paie et règle les sinistres en fonction de l'état de connaissance du sinistre. La couverture du réassureur est généralement plafonnée à 1 ou 2 fois le capital constitutif de rente définit lors de l'attribution.

Exemple numérique :

Caractéristiques de la couverture de réassurance :

Rentes	Priorité	Plafond	Table de mortalité
Suivi additionnel	1 000K€	2 fois le capital constitutif de rentes	TD 88-90

Simulation d'un sinistre de référence RCC :

En k€	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Sinistre de référence* (surv 2015)	2 020	2 108	2 205	2 311	2 421	2 543	2 515	2 485	2 446	2 418	2 388	2 356	2 322	2 291	2 261	2 227
Capital constitutif de rente hors indexation	911	978	1 051	1 130	1 215	1 307	1 272	1 238	1 204	1 170	1 137	1 103	1 070	1 037	1 005	973
Provision de l'indexation (moy. simulation)	294	314	339	366	391	421	428	432	428	433	436	438	437	438	441	439
Autres préjudices (réglés en t=0)	815	815	815	815	815	815	815	815	815	815	815	815	815	815	815	815
Priorité stabilisée	1000	1005	1010	1016	1022	1029	1035	1041	1046	1052	1057	1063	1068	1073	1078	1083
Rentes versées	0	0	0	0	0	54	108	163	219	276	334	393	453	514	575	638
Charge cédée	1 020	1 103	1 195	1 295	1 399	1 567	1 588	1 595	1 590	1 584	1 579	1 574	1 569	1 563	1 558	1 554
Charge conservée	1 000	1 005	1 010	1 016	1 022	976	927	890	857	834	809	783	754	727	703	673

(*) Cf. page 36: sinistre de référence

Figure 5.7 : Exemple suivi additionnel des rentes

On note ici qu'en scénario central d'inflation, le plafond de couverture n'est jamais atteint.

Avantages :

- Couverture complète des dépassements de la priorité.
- Prise en compte des révisions intervenant post-attribution (exemple révision de la rente)
- Exposition faible aux risques techniques de base :
 - dérive du taux d'escompte par rapport aux hypothèses initiales
 - allongement de l'espérance de vie du rentier
- Couverture souple dans le temps.

Inconvénients

- Le coût de gestion des traités de réassurance est très important (comptabilité des traités)
- Le risque de contrepartie est élevé.
- Prix de la couverture
- La couverture est limitée. Le risque d'hyperinflation n'est pas couvert.

C- Excédent de sinistre de l'indexation

Principe

Le réassureur prend en charge la revalorisation réelle après une priorité et jusqu'à un montant déterminé (plafond de couverture). L'assiette de couverture est basée sur des blocs de rentes fermés (base *claims made* réassurance). La couverture dans ce cas peut être viagère ou limitée dans le temps (*clean-cut*). Ces couvertures prennent en compte généralement ;

- une clause de participation aux bénéfices
- une clause de critère d'éligibilité des sinistres (montant FGU ou montant de la rente)

Avantages

- Transfert de la dérive de la revalorisation vers les réassureurs
- Couverture complémentaire du traité principal RC avec l'intégration des sinistres qui ne dépassent pas la priorité
- Gestion globale du portefeuille de rentiers

Inconvénients

- Couverture partielle du risque de dérive d'inflation :
 - en cas de dépassement du plafond.
 - pour les couvertures limitées dans le temps
- Risque de contrepartie
- Prix de la couverture

5.5.2 Les solutions alternatives

Le recours à des produits d'adossement actifs-passifs peut être aussi opéré pour couvrir le risque de dérive d'inflation, avec une couverture plus au moins parfaite. Ainsi, les mécanismes suivants peuvent être utilisés :

- Achat d'OATi
- Achat de Swap d'inflation
- Cantonnement de passif

L'exemple d'achat d'OATi (cf. annexe 11)

Principe :

Les obligations indexées sur l'inflation se distinguent des obligations non-indexées, qu'on appelle également obligations nominales pour les départager des obligations indexées, par le fait que les paiements qu'elles génèrent soient indexées sur un indice d'inflation.

Dans certains cas, l'indexation peut porter uniquement sur le capital, dans d'autres uniquement sur les coupons ; mais la règle, surtout en ce qui concerne les obligations émises par les gouvernements, qui représentent le gros du volume de cette classe d'obligations, est que tous les flux soient indexés. Cette indexation protège le détenteur de ces titres contre le risque d'inflation pendant toute la durée de vie de l'obligation, et lui assure un rendement réel, par opposition aux obligations non-indexées qui génèrent un rendement nominal.

Depuis 2001, l'Agence France Trésor (AFT) émet de manière régulière deux titres indexés sur l'inflation, l'un indexé sur l'inflation française (depuis 1998), l'autre sur l'inflation européenne. L'AFT émet environ 10 %⁶⁴ de son programme d'émissions annuel via ces titres en fonction de la demande (12 % en 2008, 7,5 % en 2009, 10,8 % en 2010, 10,9 % en 2011, 9,6 % en 2012, 9,9 % en 2013, 10,2 % en 2014).

La référence quotidienne d'inflation ainsi que le coefficient d'indexation sont calculés et publiés sur le site internet de l'AFT. Le remboursement de l'OATi s'exécute par application de la formule suivante:

$$\text{Nominal} \times \text{Coefficient d'indexation}$$

Dans les cas où la référence quotidienne d'inflation à maturité est inférieure à la référence de base, le remboursement égal au nominal garanti.

Avantages

- Couvertures du risque de dérive de l'inflation.
- Solution internalisée de couverture et donc :
 - aucune dépendance vis-à-vis des réassureurs.
 - pas de risque de contrepartie
 - réduction des frais de gestion

Inconvénients

- Le caractère imparfait de la couverture réside notamment :
 - dans la durée insuffisante des OATi
 - dans la difficulté à réaliser un adossement adéquat en volume et durée
- Réduction du rendement financier
- Coût de gestion ALM

⁶⁴ Le montant en nominal des emprunts bruts à moyen et long terme pour l'année 2014 est de 203,1 Md€ répartis entre 185,4 Md€ d'obligations à taux fixe (OAT et BTAN) et 17,7 Md€ d'obligations indexées sur l'inflation (OATi et OAT€i).

5.6 Synthèse

- La réassurance est une solution pour réduire l'espérance et la volatilité de la charge sinistres.
- Il existe plusieurs formes et structure de réassurance. Ces opérations de réassurance sont formalisées dans des traités qui précisent les conditions générales et spécifiques de la couverture.
- Pour le risque RC Automobile:
 - o les traités non proportionnels sont généralement utilisés car l'aléa porte sur l'intensité d'un sinistre individuel.
 - o les principales clauses liées au risque d'indexation des rentes sont la clause de stabilité et la clause de rentes indemnitaire.
- Le coût de la couverture en réassurance dépend en particulier du coût historique du risque⁶⁵, de l'incertitude du modèle de risque et des capacités disponibles dans le marché.
- Les modèles de type DFA sont généralement utilisés par le marché pour la cotation des traités non proportionnels. La charge de sinistres cédée espérée est modélisée par le nombre de sinistres, le montant des sinistres, les délais de paiement de l'assureur et les caractéristiques de couverture (priorité, plafond, reconstitution...).
- Pour la couverture du risque de l'indexation des rentes, plusieurs solutions sont possibles :
 - o Rachat immédiat des rentes dès leurs attributions
 - o Suivi additionnel des rentes
 - o Excédent de sinistre de l'indexation

 - o Couverture financière de type OATi, achat de Swap d'inflation ou cantonnement d'actifs

Toutes ces solutions ont leurs avantages et inconvénients, le choix de l'assureur dépendra de son appétence aux risques, ses fonds propres, son historique de sinistralité et sa maturité sur les risques RC Automobile.

⁶⁵ Prime pure

6. L'apport de solvabilité II dans l'évaluation du besoin en capital

6.1 Préambule

6.1.1 Besoin en capital global

Le calcul du besoin en capital dans la formule standard se présente sous la forme d'une structure modulaire à trois paliers⁶⁶ où chaque module ou sous module définit un risque spécifique lié à l'activité d'assurance.

L'évaluation du besoin en capital global est basée sur les deux étapes suivantes:

- pour chaque module ou sous module de risque, le besoin en capital est calibré soit par l'application d'une formule donnée soit par l'application de scénarii spécifiques au risque.
- pour chaque palier, les risques des niveaux inférieurs sont agrégés en tenant compte des probabilités de survenance conjointes, issues d'une matrice de corrélation donnée. La prise en compte de la structure des dépendances dans le calcul permet d'intégrer le bénéfice de la diversification des risques sous-jacents.

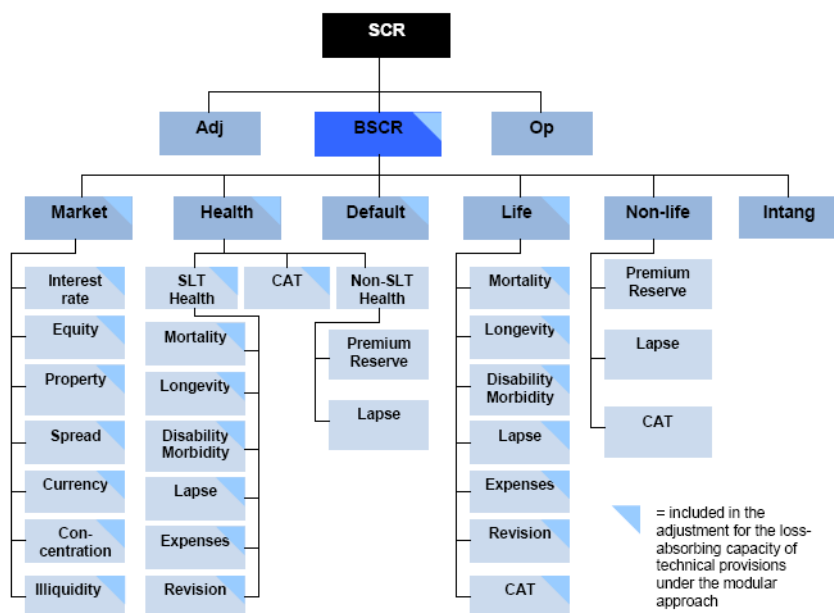


Figure 6.1 : Matrice des risques solvabilité II⁶⁷

Le SCR final est obtenu par la somme des éléments composant le premier palier à savoir : Le correctif ou l'ajustement (ADJ)⁶⁸ du besoin en capital, le SCR de base et le risque opérationnel (OP).

Notation :

$$SCR = ADJ + BSCR + SCR_{Op}$$

⁶⁶ Trois niveaux d'agrégation

⁶⁷ Cf. annexe 12 : résultats QIS à fin 2014 du marché français.

⁶⁸ Le principe est de permettre aux assureurs d'intégrer dans la formule de calcul les mécanismes d'atténuation ou d'absorption des risques que sont la participation aux bénéfices et l'impôt différé actif contenu dans les provisions

Le SCR de base (BSCR) est le regroupement des six modules de risque de niveau 2 : souscription santé (SCRHealth), souscription vie (SCRnl), souscription non-vie (Non-life), marché (SCRm), défaut (Default) et actifs incorporels (Intang). Les modules de niveau 2 se constituent en agrégeant si nécessaire les sous modules de niveau 3. Les modules de niveau 3 correspondent eux aussi à des agrégations de sous-risques.

Notation:

$$BSCR = SCR_{health} + SCR_{nl} + SCR_m + SCR_{def}$$

La méthodologie de calcul du besoin en capital (*Solvency Capital Requirement*) est décrite dans les spécifications techniques du QIS 5.

Dans cette partie, nous présenterons les modules de risques qui rentrent dans l'évaluation du besoin en capital de la responsabilité civile automobile. Ainsi, nous exposerons l'évaluation donnée par la formule standard. Puis, nous préciserons pour chaque module l'enjeu de la réassurance dans la réduction du besoin en capital.

6.1.2 Calcul du « *Best Estimate* »

Le calcul du *Best Estimate* pour sinistres à payer

Pour estimer le montant des engagements du passif, notamment ceux relatifs aux sinistres à payer, les compagnies d'assurance calculent la charge de sinistres ultime par catégorie de risque. La notion de *best estimate* est définie par l'extrait suivant : « *La meilleure estimation est égale à la moyenne pondérée par leur probabilité des flux de trésorerie futurs, compte tenu de la valeur temporelle de l'argent (valeur actuelle probable des flux de trésorerie futurs), déterminée à partir de la courbe des taux sans risque pertinente. Le calcul de la meilleure estimation est fondé sur des informations actuelles crédibles et des hypothèses réalistes et il fait appel à des méthodes actuarielles et des techniques statistiques adéquates* »

Le calcul des BE pour sinistres à payer nécessite donc d'utiliser l'une des méthodes traitées dans la partie 4.2 avec actualisation des flux futurs intervenant après la date d'inventaire.

Le calcul du BE des Provisions Mathématiques Des Rentes

Le calcul du besoin en capital au titre des rentes en services futurs nécessite le calcul de la meilleure estimation des provisions mathématiques des rentes, elle est donnée par la formule suivante (cf. sous-section 3.1.2) :

$$BE_R = \sum_i^n VAP(R_i) (1 + T_C) = \sum_i^n (a_{xi} * R_i) (1 + T_C)^{69}$$

Avec ;

n : nombre de rentiers dans le portefeuille

R_i : montant de la rente versée annuellement à la victime i

$VAP(R_i)$: valeur actuelle probable d'une rente viagère de R_i versée à la victime i

T_C : taux de chargement des frais de gestion

6.2 Le module risque de souscription non vie

Le module risque de souscription non-vie capte les risques relatifs à l'incertitude qui pèse sur l'activité de l'assurance dommage. Ainsi, il tient compte de la volatilité des primes et des provisions,

⁶⁹ Par mesure de simplification on suppose que toutes les rentes sont annuelles et à terme échu. L'intégration d'un facteur d'ajustement serait nécessaire pour les rentes infra-annuelles et à terme échoir.

de la survenance d'évènements catastrophiques et du risque de rachat non vie. Ce module couvre les contrats en cours et ceux en affaires nouvelles des 12 prochains mois.

L'évaluation des composantes de ce module de risque est basée sur une approche par facteur. Pour chaque sous-module de risque, le coefficient à retenir est donné par une formule, qui sera ensuite appliqué sur une assiette de primes ou de réserves nettes de réassurance.

L'agrégation du besoin en capital des 3 sous-modules est calculée par la formule suivante :

$$SCR_{nl} = \sqrt{\sum_{i,j} CorrNL_{i,j} \times NL_i \times NL_j} ,$$

Avec

NL_i : besoin en capital au titre du sous module de risque r

CorrNL_{i,j} : coefficient de corrélation entre les sous modules de risques r et c tel que :

Corrélations	NLpr	NLlapse	NLCAT
NLpr	1		
NLlapse	0	1	
NLCAT	0,25	0	1

Tableau 6.1 : Matrice d'agrégation risque de souscription non vie

6.2.1 Sous module risque de primes et de réserves

Principal risque pour une compagnie d'assurance non-vie, ce sous module intègre les deux risques qui caractérisent les résultats de la souscription de contrats d'assurance non-vie :

- Risque d'insuffisance des primes : le risque de primes évalue l'incertitude qui pèse sur les primes non acquises des contrats en cours à la date d'observation et sur les primes à émettre après la date d'observation⁷⁰. Le risque résulte de l'aléa qui porte les sinistres futurs, la prime pure, les chargements et frais associés (acquisition, administration et gestion).
- Risque d'insuffisance de réserves : risque qui émane de l'incertitude qui pèse sur les montants ultimes des sinistres, les cadences de liquidation et les frais afférents. Les deux sources d'incertitude qui en découlent sont une erreur d'estimation des provisions de sinistres et un aléa statistique dû à un écart entre l'estimation moyenne et constatée de la sinistralité. Le risque de réserve couvre tous les sinistres indifféremment de la date de survenance (sinistres rattachés à la période d'observation ou exercices antérieurs).

Présentation des calculs

Pour réaliser les calculs de ce sous module, les compagnies doivent disposer des données suivantes :

- les montants *Best Estimate* des provisions de sinistres par branche (lob) noté PCO_{lob}, qui doivent être déduits des montants recouvrables par la réassurance et des fonds communs de créances,
- l'estimation des primes émises nettes de réassurance par branche pour les 12 mois à venir, noté P_{lob}^{t,written},
- l'estimation des primes acquises nettes de réassurance pour les 12 mois à venir, noté P_{lob}^{t,earned},
- le montant de primes émises sur les 12 derniers mois noté P_{lob}^{t-1,written}.

⁷⁰ Dont l'engagement de l'assureur est requis

- la valeur actuelle des primes émises au-delà des 12 mois à venir notée P_{lob}^{PP} ⁷¹.

Le calcul du besoin en capital est donné par la formule suivante :

$$NLpr = \rho(\sigma) \cdot V$$

Avec ;

V : une mesure de volume ou d'exposition,

σ : l'écart type combiné

$\rho(\sigma)$: une fonction de l'écart type combiné donnée par l'expression suivante

$$\rho(\sigma) = \frac{\exp(N_{0,995} \times \sqrt{\log(\sigma^2 + 1)})}{\sqrt{\sigma^2 + 1}} - 1$$

où $N_{0,995}$ est le quantile à 99,5% de la distribution de la loi normale standard (centrée et réduite). La fonction $\rho(\sigma)$ est déterminée avec l'hypothèse que la loi de distribution du risque suit une loi log-normale. Une approximation de cette fonction est donnée par l'EIOPA : $\rho(\sigma) = 3\sigma$.

La mesure d'exposition V et l'écart type σ combiné sont déterminés en quatre étapes :

1- *Mesure d'exposition par risques de primes et de réserves⁷² et par Lob :*

$$V_{(prem,lob)} = \max(P_{lob}^{t,written}, P_{lob}^{t,earned}, P_{lob}^{t-1,written});$$

$$V_{(res,lob)} = PCO_{lob}.$$

$$V(lob) = (V_{(prem,lob)} + V_{(res,lob)}) \times (0,75 + 0,25 \times Div_{lob})$$

$$\text{Où } Div_{lob} = \frac{\sum_j (V_{(prem,j,lob)} \times V_{(res,j,lob)})^2}{(\sum_j (V_{(prem,j,lob)} \times V_{(res,j,lob)}))^2} \text{ est le coefficient de diversification géographique (à chaque pays correspond un coefficient).}$$

2- *Mesure de l'écart type par Lob :*

Les paramètres de volatilité des risques de primes et de réserves sont estimés au niveau Européen en net de réassurance pour chaque Lob. Ils sont donnés par L'EIOPA par le tableau suivant :

⁷¹ En France, les cotisations RC Auto sont annuelles.

LoB	Ecart type risque de primes (net de réassurance)	Ecart type risque de réserves (net de réassurance)
RC automobile	10% . NPlob	9,50%
Dommages automobiles	7% . NP lob	10%
Maritime aviation transport	17% . NP lob	14%
Incendie et dommages aux biens	10% . NP lob	11%
RC générale	15% . NP lob	11%
Crédit et caution	21,5% . NP lob	19%
Protection juridique	6,5% . NP lob	9%
Assistance	5% . NP lob	11%
Divers	13% . NP lob	15%
Réassurance non proportionnelle - dommages	17,5% . NP lob	20%
Réassurance non proportionnelle - RC	17% . NP lob	20%
Réassurance non proportionnelle - transport	16% . NP lob	20%

Tableau 6.2 : volatilité du risque de primes et de réserves par Lob

Pour le risque de primes, les paramètres retenus dans un premiers temps sont bruts de réassurance, le calcul du net par lob s’effectue en multipliant par un coefficient d’atténuation des risques noté NP_{lob} . Ce coefficient permet de prendre en compte la réassurance non proportionnelle. Par défaut, le NP_{lob} est égal à 1.

Au final, l’écart type par lob est donné par la formule suivante :

$$\sigma(lob) = \frac{\sqrt{(\sigma_{(prem,lob)} \cdot V_{(prem,lob)})^2 + 2\alpha \cdot \sigma_{(prem,lob)} \cdot \sigma_{(res,lob)} \cdot V_{(prem,lob)} \cdot V_{(res,lob)} + (\sigma_{(res,lob)} \cdot V_{(res,lob)})^2}}{V_{(prem,lob)} + V_{(res,lob)}}$$

Où

α : coefficient de corrélation entre le risque de primes est de réserves. Dans le QIS $\alpha=0,5$.

3- Mesure d'exposition globale :

$$V = \sum_{lob} V(lob)$$

4- Mesure de l'écart type combiné du portefeuille:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{V^2} \times \sum_{r,c} CorrLob_{r,c} \times \sigma_r \times \sigma_c \times V_r \times V_c}$$

Où

r et c : Indices des Lob non vie

$CorrLob_{r,c}$: Matrice des coefficients de corrélation entre les Lob r et c

Corr LoB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1: RC automobile	1											
2 : Dommages automobiles	0,5	1										
3 : Maritime aviation transport	0,5	0,25	1									
4 : Incendie et dommages aux biens	0,25	0,25	0,25	1								
5: RC générale	0,5	0,25	0,25	0,25	1							
6 : Crédit et caution	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	1						
7: Protection juridique	0,5	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	1					
8: Assistance	0,25	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	1				
9: Divers	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1			
10: Réassurance non proportionnelle - dommages	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	1		
11: Réassurance non proportionnelle - RC	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	1	
12: Réassurance non proportionnelle - transport	0,25	0,25	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,25	1

Tableau 6.3 : Matrice d'agrégation du risque de primes et de réserves

V_r, V_c : Mesures de volumes des Lob calculés dans l'étape 1.

Analyse de la formule

Les spécifications techniques de la formule standard au titre du risque de primes et de réserves laissent peu de liberté aux compagnies d'assurance dans le calcul. Les volumes de primes et de réserves ventilés par Lob sont appliqués sur la volatilité moyenne du marché européen avec les hypothèses sous-jacentes suivantes :

- la loi de distribution des risques non vie (log normale),
- les coefficients de corrélation de primes et de réserves,
- la corrélation entre risques de prime et de réserve au sein de chaque Lob.

Le seul paramètre calibré par les compagnies est relatif à la prise en compte de l'effet atténuation lié à la réassurance non proportionnelle NP_{lob} .

En France, les traités RC Automobile, sont principalement non proportionnels, d'où la nécessité d'estimer au mieux le paramètre $NP_{RC\ Auto}$.

Pour le calcul des NP_{lob} , les compagnies doivent alimenter la helper-tab fournie par l'EIOPA par les données suivantes :

- n : nombre d'année utilisé dans l'estimation (profondeur de l'historique)
- $V(\text{prem, gross, lob})$: montant des primes attendues
- a : rétention du traité non proportionnel
- b : limite du traité non proportionnel
- M_{brut}^{lob} : coût moyen historique des sinistres bruts de réassurance
- Ω_{brut}^{lob} : écart type historique des sinistres bruts de réassurance

L'estimation proposée par l'EIOPA des NP_{lob} part de l'hypothèse que les sinistres sont distribués dans chaque lob selon une loi lognormale de paramètres m, σ où

$$\sigma = \sqrt{\ln(1 + (\Omega_{brut}^{lob} / M_{brut}^{lob})^2)} \text{ et } m = \sqrt{\ln(M_{brut}^{lob}) - \sigma^2}.$$

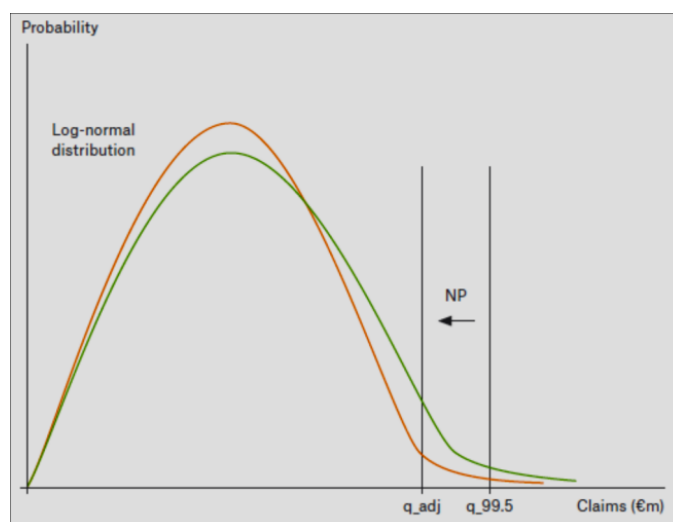


Figure 6.2 : Distribution des sinistres et l'effet NP_{lob}

Le NP_{lob} est donnée par la formule suivante :

$$NP_{lob} = \sqrt{\frac{1 + (\Omega_{net}^{lob} / M_{net}^{lob})^2}{1 + (\Omega_{brut}^{lob} / M_{brut}^{lob})^2}} \text{ si } s = \sqrt{\frac{n \cdot V(\text{prem, gross, lob})^2}{N \cdot (\Omega_{brut}^{lob 2} + M_{brut}^{lob 2})}} \geq 1$$

où

M_{net}^{lob} : coût moyen des sinistres nets de réassurance

Ω_{net}^{lob} : écart type des sinistres nets de réassurance

M_{brut}^{lob} et Ω_{brut}^{lob} sont données, n et $V(\text{prem, gross, lob})$ interviennent dans le calcul si :

$$s = \sqrt{\frac{n \cdot V(\text{prem, gross, lob})^2 \cdot \sigma(\text{prem, gross, lob})^2}{N \cdot (\Omega_{brut}^{lob 2} + M_{brut}^{lob 2})}} < 1, \text{ autrement dit lorsque le}$$

niveau de primes est insuffisant ou/et l'historique n'est pas pertinent. Dans ce cas, on corrige le coût moyen et l'écart type historique brut de réassurance de la manière suivante :

$$M_{brut}^{lob'} = s * M_{brut}^{lob} \text{ et } \Omega_{brut}^{lob'} = s * \Omega_{brut}^{lob}$$

Le seul paramètre qui constitue une marge de manœuvre pour les entreprises d'assurance est lié au niveau de priorité retenu dans le traité de réassurance. Le tableau et le graphique qui suivent, illustrent la relation entre le niveau de priorité et le facteur NPrc pour une entreprise d'assurance de taille moyenne :

Priorité	1M€	2,5M€	5M€	7,5M€	10M€	12,5M€	15M€	17,5M€	20M€
NPrc	49,0%	59,8%	67,9%	72,4%	75,5%	77,7%	79,5%	80,9%	82,1%
Perte saut de classe en pts		10,8%	8,1%	4,5%	3,1%	2,3%	1,8%	1,4%	1,2%
Perte cumulés en pts		10,8%	18,9%	23,4%	26,5%	28,7%	30,5%	32,0%	33,1%

Tableau 6.4 : Valeurs de NPrc en fonction du niveau de priorité

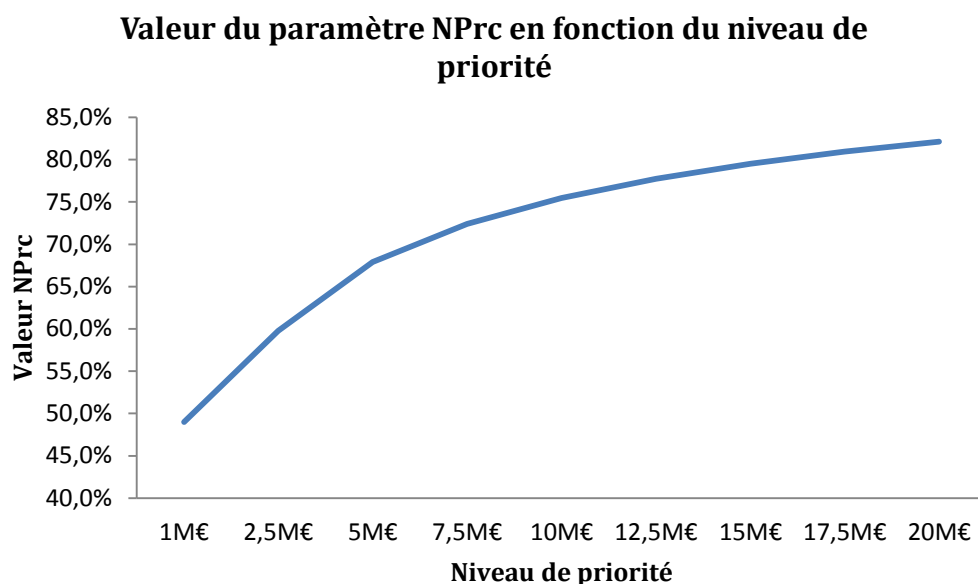


Figure 6.3 : Valeurs de NPrc en fonction du niveau de priorité

Avec des niveaux de priorité élevés la valeur de NPrc se rapproche de 1, et donc l'effet atténuation lié à la réassurance non proportionnelle est moins élevé. Ainsi on peut déduire :

- Sur la tranche [1M€-5M€], le relèvement de la priorité réduit considérablement le gain lié à la réassurance non proportionnelle (inversement la réduction de la priorité accroît considérablement le gain lié au facteur NPrc)
- Sur la tranche [5M€-20M€], le relèvement de la priorité réduit légèrement le gain lié à la réassurance non proportionnelle (inversement la réduction de la priorité accroît légèrement le gain lié au facteur NPrc)
- Sur la tranche [20M€ et plus], l'impact du relèvement de la priorité est marginal sur le gain lié à la réassurance non proportionnelle.

6.2.2 Sous module risque catastrophique

Le risque catastrophique (Cat) est défini comme : « *le risque de perte ou de variation défavorable de la valeur des passifs d'assurance, résultant d'une incertitude significative des hypothèses de tarification et de provisionnement au regard des événements extrêmes ou exceptionnels* ».

Le sous module risque de primes et de réserves capte le risque lié à une volatilité autour de la sinistralité moyenne. Les événements exceptionnels ne sont donc pas pris en compte dans ce sous module. Le sous module risque Cat permet de calculer un besoin en capital au titre des événements extrêmes ou exceptionnels situés aux queues de la distribution des sinistres. Le besoin en capital au titre du risque Cat est mesuré par une Var de 99,5% à horizon d'une année.

Le calibrage fourni dans la formule standard propose deux approches alternatives :

- l'approche par scénarios : basée sur des scénarios standardisés. Les scénarios catastrophiques sont donnés par nature de périls et non par lignes de business. Cette logique retenue est plus adaptée puisqu'elle permet de simuler les traités de réassurance⁷³ indépendamment des branches (LoB).

⁷³ Chaque programme de réassurance est spécifique

- l'approche factorielle : cette approche est retenue quand la première est impossible (non disponibilité des données), inadaptée (non cohérente), hors périmètre (hors EEA et risques divers). Dans ce cas-là, on retient une formule fermée et simplifiée donnée par le régulateur (cf. annexe 13).

Les scénarios extrêmes du risque non vie se scindent en quatre familles⁷⁴ :

- Les catastrophes d'origine naturelle SCRnatCAT
 - 5 types de catastrophes naturelles sont modélisés : tempête, inondation, tremblement de terre, grêle et affaissement de terrain.
- Le risque catastrophique lié à la réassurance non proportionnelle habitation SCRnpproperty
- Les catastrophes d'origine humaine SCRmmCAT : 7 types de catastrophes humaines sont reconnus par le régulateur : incendie, automobile, terrorisme, marine, assurance-crédit, aviation et responsabilité civile.
- Autres risques catastrophiques SCRnatother

Les périls catastrophiques d'origine naturelle SCRnatCAT et les périls catastrophiques d'origine humaine SCRmmCAT sont supposés indépendants :

$$SCR_{natCAT} = \sqrt{\sum_i SCR_i^2} \quad \text{et} \quad SCR_{mmCAT} = \sqrt{\sum_i SCR_i^2}$$

Le besoin en capital final est donné par l'expression suivante :

$$SCR_{NL_CAT} = \sqrt{(SCR_{natCAT} + SCR_{npproperty})^2 + (SCR_{mmCAT})^2 + (SCR_{CATother})^2}$$

Les scénarios sont donnés en brut de réassurance. Il faudra ensuite appliquer le programme de réassurance pour déterminer la charge nette de chaque péril⁷⁵. Les calculs du passage brut/net de réassurance sont réalisés dans les « helper tab » fournis par l'EIOPA :

- Lorsqu'une couverture XL est appliquée après une couverture proportionnelle :
 $MAX (L*QS-XLC,0) + MIN (L*QS,XLF) + REINST$

- Lorsqu'une couverture proportionnelle est appliquée après une couverture XL :
 $MAX (L-XLC,0)*QS + MIN (L,XLF) *QS + REINST$

Où

L : montant brut total de la perte

QS : seuil de rétention du quote-part

XLC : limite supérieure du programme de réassurance XL appliqué lors de la survenance d'un événement

XLF : seuil de rétention du programme de réassurance XL appliqué lors de la survenance d'un événement

REINST : prime de reconstitution de la couverture

Les calculs intermédiaires nécessitent de connaître ces expositions par département (maillage d'exposition par CRESTA), par région⁷⁶ (pays) et par périls.

On s'intéressera ensuite aux sous-modules du risque en lien avec notre périmètre d'étude :

⁷⁴ Par construction les quatre familles de risques sont supposées indépendantes

⁷⁵ Les calculs en brut et en net de réassurance sont nécessaires pour le calcul du SCR de défaut. En effet, le risque de défaut est basé sur le « risk mitigating » correspondant à la réduction du besoin en capital liée au programme de réassurance : RM= SCR brut de réassurance - SCR net de réassurance.

⁷⁶ Hors EEA : territoires non modélisés, application par défaut de la formule 2

- Le risque catastrophe d'origine humaine et particulièrement le choc responsabilité civile Automobile.
- Les autres risques catastrophiques, en particulier le choc appliqué à la réassurance non proportionnelle responsabilité civile automobile.

Présentation des calculs

Besoin en capital pour les contrats d'assurance et réassurance proportionnelle :

Pour la RC Automobile l'hypothèse fondamentale utilisée est que le nombre de véhicules-années est la meilleure mesure d'exposition. La perte résultante prend en compte :

- une extrapolation d'une loi Pareto à un niveau bicentennal
- une réduction pour les contrats avec des engagements plafonnés appliqués dans certains pays.

$$SCR_{motorCAT} = \Delta BOF | (L_{motorCAT})$$

$$L_{motorCAT} = 50000 * \max(120, \sqrt{N_a + 0.05 * N_b + 0.95 * \min(N_b; 200000)})$$

Où

N_a : Nombre de véhicules-années assurés en branches 4 (en direct ou en réassurance proportionnelle) comme défini dans l'annexe 14 avec des engagements bruts plafonnés à un seuil supérieur à 24M€.

N_b : Nombre de véhicules-années assurés en branches 4 (en direct ou en réassurance proportionnelle) comme défini dans l'annexe 14 avec des engagements bruts plafonnés à un seuil égal ou inférieur à 24M€.

Le nombre de véhicules-années couverts par un programme de réassurance proportionnelle est pondéré par la part relative cédée.

La limite de contrat retenue est la limite globale du contrat d'assurance responsabilité civile automobile. Si aucune limite globale n'est spécifiée dans les conditions générales du contrat, il faudra retenir la somme des limites des dommages matériels et des dommages corporels. Si la limite de contrat est spécifiée comme un maximum par victime, la limite globale devrait être basée sur l'hypothèse de dix victimes.

Besoin en capital pour les contrats de réassurance non proportionnelle :

$$SCR_{autres} = \sum_i (\Delta BOF | L_{autres})$$

$$L_{autres} = \sqrt{(C_1 \cdot P_1 + C_2 \cdot P_2)^2 + (C_3 \cdot P_3)^2 + (C_4 \cdot P_4)^2 + (C_5 \cdot P_5)^2}$$

Où i : segment risque

C_i : Choc appliqué sur le segment risque i

P_i : estimation du montant des primes du segment i sur les 21 prochains mois

i	Lob	Ci
1	Lob 6 (y compris réassurance proportionnelle) défini en annexe 14 autre que l'assurance ou la réassurance aviation & maritimes	100%
2	Réassurance non proportionnelle du Lob 15 défini en annexe 14 autre que la réassurance aviation & maritimes.	250%
3	Lob 12 (y compris réassurance proportionnelle) défini en annexe 14 autre que les extensions de garanties dès lors que ces extensions sont diversifiées et ne couvrent pas le coût de rappel des produits	40%
4	Réassurance non proportionnelle du Lob 14 défini en annexe 14 autre que la réassurance de la responsabilité générale	250%
5	Réassurance non proportionnelle du Lob 9 défini en annexe 14	250%

Tableau 6.5 : Chocs appliqués en SCRautres

Pour la réassurance non proportionnelle RC automobile, le choc appliqué s'élève à 250% des primes.

Analyse de la formule

Pour les contrats d'assurance et de réassurance proportionnelle RC Automobile, le besoin en capital dépend du volume de portefeuille en nombre. L'hypothèse sous-jacente est que le nombre véhicules-années est une bonne mesure de fréquence de la perte extrême. En effet, tous les véhicules ont des risques de causer une perte majeure, ou toutes les entreprises ont un mix de types de véhicules comparables.

La couverture RC Automobile est illimitée, sans réassurance la formule devient :

$$L_{motorCAT} = 50000 * \max(120, \sqrt{N_a})$$

Le tableau suivant donne le besoin en capital en fonction de la taille du portefeuille, avec et sans réassurance :

Nombre d'années assurance N	Sans réassurance N=N _a			Avec réassurance* N=N _b		
	Besoin en capital global en €	Besoin en capital / année d'assurance	Primes/ besoin en capital	Besoin en capital global en €	Besoin en capital / année d'assurance	Primes/ besoin en capital
10 000	6 000 000	600	300,0%	6 000 000	600	300,0%
100 000	15 811 388	158	79,1%	15 811 388	158	79,1%
200 000	22 360 680	112	55,9%	22 360 680	112	55,9%
400 000	31 622 777	79	39,5%	22 912 878	57	28,6%
1 000 000	50 000 000	50	25,0%	24 494 897	24	12,2%
2 000 000	70 710 678	35	17,7%	26 925 824	13	6,7%
10 000 000	158 113 883	16	7,9%	41 533 119	4	2,1%
30 000 000	273 861 279	9	4,6%	65 000 000	2	1,1%

(*) Réassurance non proportionnelle avec priorité inférieur à 24m€

Tableau 6.6 : Besoin en capital CATauto en fonction de la taille

La formule standard capte l'effet mutualisation liée à la taille du portefeuille. Sur la base d'une cotisation moyenne RC de 200€ :

- Pour un 1€ de primes, une petite entreprise de 100 000 années d'assurance réassurance, devrait immobiliser 0,8€ de fonds propres⁷⁷.
- Pour un 1€ de primes, une moyenne entreprise de 2 000 000 années d'assurance et sans réassurance, devrait immobiliser 0,25€ de fonds propres (0,12€ avec réassurance).
- Pour un 1€ de primes, une grande entreprise de 30 000 000 années d'assurance, devrait immobiliser 0,046€ de fonds propres (0,011€ avec réassurance).

Pour les contrats de réassurance RC Automobile, le chargement en capital au titre du risque catastrophique est fonction de volume de primes. Ainsi, pour 1€ de primes de réassurance non proportionnelle, une compagnie de réassurance devrait immobiliser 2,5€ de fonds propres.

6.3 Le module risque de souscription vie

6.3.1 Composantes du risque

Le module risque de souscription vie couvre les risques résultant de l'activité vie des assureurs, associés notamment aux périls couverts et au processus de conduite d'activité. Il est calculé par agrégation des besoins en capitaux des sous-modules suivants :

- Risque de mortalité : risque de pertes, ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant d'une augmentation du taux de mortalité liée un changement de niveau, de tendance, ou de volatilité du taux de mortalité (risque des garanties décès).
- Risque de longévité : risque de perte ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant d'une baisse du taux de mortalité liée un changement de niveau, de tendance, ou de volatilité du taux de mortalité (risque de rentes viagères)
- Risque d'invalidité : risque de pertes ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant d'une augmentation croissante du taux d'invalidité combinée par une diminution du taux de mortalité des invalides (risque incapacité/invalidité)
- Risque de dépenses : risque de perte lié à une dérive des frais de gestion des contrats ou des sinistres (assurance et réassurance).
- Risque de révision : risque de perte ou de changement défavorable de la valeur des engagements d'assurance, résultant d'une révision à la hausse des rentes servies, liée à une dégradation de l'état de santé de l'assuré ou à une évolution réglementaire en faveur des victimes.
- Le risque de perte résultant d'un changement défavorable du niveau ou de la volatilité du taux de rachat, des résiliations ou des renouvellements.
- Risque de catastrophe : risque de perte résultant de l'incertitude qui pèse sur les hypothèses de valorisation et de provisionnement et lié à une catastrophe de type pandémie ou incident nucléaire (risque décès).

Le chargement au titre du risque vie se calcule comme suit :

$$SCR_{life} = \sqrt{\sum_{r,c} CorrLife_{r,c} \times Life_r \times Life_c}$$

où $Life_c$: le besoin en capital au titre du risque c et $CorrLife_{r,c}$ est le coefficient de corrélation entre les risques vies r et c .

⁷⁷ Hors effet diversification et au titre du sous-module étudié

La matrice de corrélation est donnée par le tableau suivant :

Corr Lob	Mortalité	Longévité	Invalidité	Rachat	Frais	Révision	Catastrophe
Mortalité	1						
Longévité	-0,25	1					
Invalidité	0,25	0	1				
Rachat	0	0,25	0	1			
Frais	0,25	0,25	0,5	0,5	1		
Révision	0	0,25	0	0	0,5	1	
Catastrophe	0,25	0	0,25	0,25	0,25	0	1

Tableau 6.7 : Matrice des corrélations SCRvie

6.3.2 Les rentes RC Automobile et la formule standard

La garantie RC Automobile peut conduire au versement de rentes aux victimes de la circulation. La valorisation et le provisionnement des rentes s’opèrent selon des techniques vie faisant appel à une table de mortalité et un taux d’actualisation. Par ailleurs, la réglementation précise du principe de prédominance de la substance sur la forme, ainsi, les rentes intègrent le périmètre du module risque de souscription vie. Les risques de souscription vie relatifs aux rentes servies aux victimes de la circulation se limitent aux risques de longévité, de révision et de frais.

Pour les trois risques retenus, le calcul du besoin en capital est basé sur l’application d’un choc sur les provisions mathématiques calculées avec des hypothèses économiques (BEin) :

$$SCR_i = \max(0, BE_{aci} - BE_{initial})$$

- Le risque de longévité s’obtient en revalorisant le portefeuille de rentes avec un choc d’une baisse de 20% du taux de mortalité sur l’ensemble des âges de la table de mortalité utilisée.

$$Life_{long} = \sum_i (\Delta BOF | longevity shock)$$

Simplification proposée pour ce risque :

$$SCR_{longevity} = 0,2 * q * n * 1,1^{(n-2)/2} * BE_{long}$$

Où q : taux de mortalité moyen attendu pour l’année prochaine pondéré par les sommes assurées.

n : Exprimé en année, il correspond à la duration modifiée des annuités à verser aux bénéficiaires inclus dans le *Best Estimate*.

BE_{long} : *Best Estimate* des contrats exposés au risque de longévité

- Le risque de frais est calculé en appliquant les deux chocs suivants :
 - o Augmentation des frais de gestion future de 10% par rapport aux anticipations
 - o Hausse du taux d’inflation de 1% par an par rapport aux taux anticipés

Le capital requis correspondant à la variation de la valeur du BE des provisions techniques.

$$Life_{exp} = \Delta NAF | exp shock$$

Simplification proposée pour ce risque :

$$Life_{exp} = \left(\frac{n}{10} + \frac{(1+i+0,01)^n - 1}{i+0,01} - \frac{(1+i)^n - 1}{i} \right) * EI$$

Où

El : montant des frais encourus sur la dernière année pour versement des rentes (frais d'assurance et de réassurance).

n : la duration modifiée des flux futurs inclus dans le calcul du *Best Estimate* des rentes.

i : taux d'inflation moyen pondéré inclus dans le calcul du *Best Estimate*. La pondération est basée sur la valeur actuelle des frais inclus dans le calcul du BE des engagements rentes existantes.

- Le risque de révision se calcule en appliquant le choc d'une hausse de 3% du montant de l'arrérage annuel, sur l'ensemble des rentes en portefeuille. Ce choc revient à augmenter le BE initial de 3%.

Le capital requis correspond à la variation de la valeur du BE des provisions techniques :

$$Life_{rev} = \Delta NAF | \exp revision$$

6.4 Le module risque de défaut ou de contrepartie

6.4.1 Présentation des calculs de la formule standard

Le module risque de contrepartie, reflète les pertes éventuelles induites par le défaut ou la dégradation de la qualité de crédit des contreparties et débiteurs de la compagnie, durant les 12 prochains mois à venir.

Ce module couvre :

- Les expositions de type 1 : les contrats d'atténuation de risques dont les créances sont généralement notées et non diversifiables comme les traités de réassurances, les produits de titrisation et les produits de couverture dérivés.
- Les expositions de type 2 : les créances diversifiées comme les créances sur intermédiaires, les lettres de crédit et les créances sur les clients.

La formule standard fournit l'expression suivante au titre du risque de défaut :

$$SCR_{def} = \sqrt{(SCR_{def1})^2 + 2 \times Corr_{def1,def2} \times SCR_{def1} \times SCR_{def2} + (SCR_{def2})^2}$$

Avec :

$SCR_{def i}$: chargement en capital pour les expositions de type i.

$Corr_{def 1def 2}$: coefficient de corrélation entre les deux types d'exposition⁷⁸.

Dans le cadre de ce mémoire, et en lien avec l'optimisation de la réassurance, nous retenons exclusivement le capital requis pour les expositions de type 1, et plus précisément pour le risque de défaut des réassureurs.

Le chargement en capital au titre des expositions de type 1 est donné par l'expression suivante :

⁷⁸ Fixé à 0,75 dans la formule standard.

$$SCR_{\text{def},1} \begin{cases} 3 \cdot \sqrt{V} & \text{si } \sqrt{V} \leq 5\% \cdot \sum_i LGD_i \\ \text{sinon } \min(\sum_i LGD_i; 5 \cdot \sqrt{V}) \end{cases}$$

Avec :

LGD_i : Montant des pertes en cas de défaut du réassureur *i*, il se calcul comme suit :

$$LGD_i = \text{Max}[(1 - RR) * (\text{Recoverables}_i + RM_i - \text{Collateral}_i); 0]$$

où

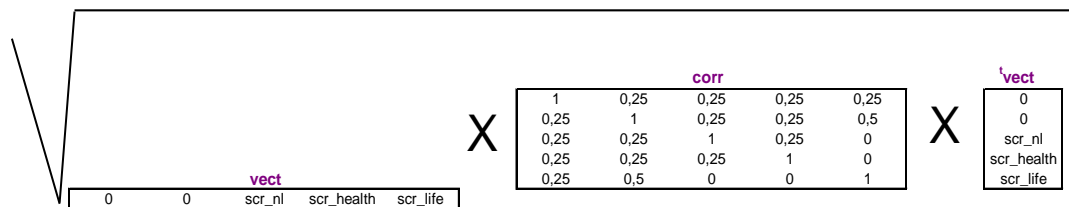
RR : taux de recouvrement fixé à 50% par L'EIOPA dans le QIS5 ;

Recoverables⁷⁹ : *Best estimate* des créances du réassureur *i* résultant du contrat de réassurance. Il est constitué des BE de sinistres cédés, des BE de primes cédées et des BE de primes futures cédées.

Collateral *i* : Collatéral couvrant la perte éventuelle de la créance du réassureur *i*. Il correspond au montant des nantissements sous forme de dépôt espèce ou sous forme de titre.

RM_i : Atténuation du risque « *Risk Mitigating* » par le réassureur *i* qui se calcule en deux étapes :

- calcul des SCR bruts et nets de réassurance par l'agrégation des 3 risques de souscription (vie, santé, non-vie) et en utilisant la matrice de corrélation du BSCR.



- Calcul de l'atténuation globale de risque apportée par le réassureur *i* :
RM_i = BSCR_{lightbruti} - BSCR_{lightneti}

V : Variance de la distribution des pertes des expositions de type 1. Elle se calcule comme suit :

$$V = \sum_j \sum_k u_{j,k} \times y_j \times y_k + \sum_j v_j \times z_j$$

où

j,k : classe de rating

$y_j = \sum_i LGD_i$: Montant cumulé des pertes en cas de défaut des réassureurs

$z_j = \sum_i (LGD_i)^2$ de rating j,

$$u_{j,k} = \frac{p_j \times (1 - p_j) \times p_k \times (1 - p_k)}{(1 + \gamma) \times (p_j + p_k) - p_j \times p_k} \text{ et } v_j = \frac{(1 + 2\gamma) p_j \times (1 - p_j)}{2 + 2\gamma - p_j}$$

⁷⁹ Cf. TP.2.120 à TP.2.131 du QIS 5

avec P_j probabilité de défaut pour une classe de notation j et $\gamma = 0,25$.

La probabilité de défaut associée à chaque classe de rating⁸⁰ est fournie par l'EIOPA dans le tableau suivant :

Notations	Probabilité de défaut P_i
AAA	0,002%
AA	0,01%
A	0,05%
BBB	0,24%
BB	1,20%
B	6,04%
≤ CCC	30,41%

Tableau 6.8 : Probabilité de défaut par notation

6.4.2 Analyse de la formule standard

En supposant que le montant total des pertes en cas de défaut⁸¹ est donné, on peut simuler le besoin en capital en variant le nombre de réassureurs et leurs notations.

Dans l'analyse qui suit, nous retenons les hypothèses suivantes :

- $\sum_i LGD_i = 1000$

- Cinq structures de notations simulées :

- S1 : chaque classe de notation représente 14,3% du portefeuille
- S2 : 33% des réassureurs sont notés AAA, 33% BBB et 33%CCC
- S3 : 100% des réassureurs sont notés AAA
- S4 : 100% des réassureurs sont notés BBB
- S5 : 100% des réassureurs sont notés CCC ou moins

Le tableau suivant donne les résultats des simulations :

⁸⁰ La notation retenue par réassureur, selon la règle de la seconde meilleure notation, est fournie par les agences de notations : Standard and Poor's, Moody's, Fitch et AM Best.

⁸¹ $\sum_i LGD_i$

Nb de réassureur	j = 14,3%	33% (AAA ; BBB ; CCC)	100% AAA	100% BBB	100% CCC
1			13	147	1 000
2			11	123	1 000
3		776	10	114	1 000
4			10	109	1 000
5			10	106	1 000
6		632	9	104	1 000
7	440		9	102	1 000
8			9	101	1 000
9		576	9	100	1 000
10			9	100	1 000
11			9	99	1 000
12		546	9	98	1 000
13			9	98	1 000
14	381		9	98	1 000
15		527	9	97	1 000
16			9	97	1 000
17			9	97	1 000
18		514	9	97	1 000
19			9	96	1 000
20			9	96	1 000
21	359	504	9	96	1 000

Tableau 6.9 : SCR défaut par structure de notation

Les résultats des simulations ci-dessus relèvent les constats suivants :

- Le placement d'un programme de réassurance avec des réassureurs de meilleure notation permet de minimiser considérablement le besoin en capital : pour un programme réalisé avec trois réassureurs de même notation, le besoin en capital s'élève à 10M€ pour une notation de AAA, 114M€ pour une notation de BBB et 1000M€ pour une notation de CCC ou moins. La solidité financière du réassureur est un critère dominant dans le calcul du risque de défaut.
- La diversification entre notations permet de réaliser un gain de diversification significatif.
 - L'EIOPA a fourni une formule complexe permettant de prendre en compte la corrélation entre notation. Les travaux réalisés sur le risque de défaut qui ont conduit à cette formule sont détaillés dans le "consultation paper 28".
- La diversification entre réassureurs est moins significative, lorsqu'on dispose d'une structure de notation proche de la notation BBB.
- La formule proposée accorde peu de poids à la diversification entre réassureurs. L'explication se trouve dans l'exposition des réassureurs aux mêmes risques. Ils exercent une activité internationale et placent leurs actifs sur les marchés financiers. Ils sont donc soumis aux mêmes risques systémiques, crise financière majeure, événements climatiques de forte intensité ou actes terroristes de grande ampleur. Le défaut des réassureurs est donc corrélé et par conséquent l'effet diversification serait limité.
- Pour les structures moins notées (CCC et moins), le besoin en capital au titre du risque de défaut est proche de l'exposition totale.

La formule standard proposée par le législateur ne permet pas de capter le risque de dérive de l'inflation future des rentes automobile ni des possibilités de couverture de ce risque. Par ailleurs, les calibrages de la formule standard sont basés sur des hypothèses de marché qui peuvent dévier par rapport au profil de risque de la compagnie. Dans ce cas, un modèle interne est une opportunité pour les assureurs pour optimiser leur besoin en capital. D'autre part, dans la formule standard, l'horizon

d'observation est limité à un an. Le pilier II permet de remédier à cette faiblesse en donnant aux entreprises d'assurance la liberté de prise en compte de l'ensemble des risques dans une vision long terme. Ainsi, dans un dispositif d'évaluation en interne des risques et de la solvabilité "ORSA", le pilotage du risque d'indexation des rentes pourrait inclure des indicateurs de volatilité en lien avec l'évolution du portefeuille automobile et du stock des rentiers.

6.5 Synthèse

- Avec Solvabilité II, le besoin en capital dépend de l'exposition aux risques de la compagnie et de leur volatilité.
- La réassurance permet de diminuer la volatilité et donc le besoin en capital quel que soit la forme de couverture. Ainsi, les traités non proportionnels sont pris en compte pour le segment RC automobile.
- Dans le référentiel solvabilité II, les modules de risque permettant d'évaluer le besoin en capital au titre de la RC automobile sont le risque de souscription non vie, le risque de souscription vie et le risque de défaut.
- Les deux principales composantes du risque de souscription non-vie sont :
 - o Le risque de primes et réserves est mesuré dans la formule standard à l'aide de la volatilité des engagements de l'assureur (relatifs aux primes futures ou aux sinistres survenus) :
 - Sous les hypothèses de log-Normalité du facteur de risque, corrélation de 50% entre les risques de primes et de réserves, corrélations standard entre branches et coefficients de volatilité standard par branche basés sur l'historique du marché.
 - Pour le risque de primes, la réassurance non proportionnelle est prise en compte par l'application d'un facteur appelé N_p facteur. Ce dernier facteur dépend du niveau de priorité du traité de réassurance. Quant au risque de réserves, la réassurance non proportionnelle est directement prise en compte dans le calcul des BE sinistres.
 - o Le risque catastrophique calcul le besoin en capital au titre des événements extrêmes ou exceptionnels situés aux queues de la distribution des sinistres :
 - Calcul par nature de péril et non par branche.
 - Au titre de la RC automobile, le besoin en capital dépendra de la taille de l'entreprise et de la couverture de réassurance.
 - La réassurance non proportionnelle est prise en compte à condition que la priorité du traité soit inférieure au seuil de 24M€.
- Selon le principe de prédominance de la substance sur la forme, les provisions des rentes RC Automobile intègrent le périmètre du module risque de souscription vie. Le risque de souscription vie dans ce cas se limite aux risques de longévité, de révision et de frais.
- Le risque de défaut prend en compte le risque de défaillance des réassureurs dans le respect de leur engagement. Son évaluation dépend du nombre de réassureurs participants au programme de réassurance et de leur notation de solidité financière.
- La formule standard ne capte pas le risque d'une dérive de l'indexation des rentes.

Conclusion générale

Le coût des sinistres corporels de la garantie responsabilité civile automobile n'a cessé d'accroître ces dernières années en raison des récentes évolutions réglementaires (cf. section 2). Ces évolutions ont un impact sur l'appréciation de l'espérance du risque et sur sa variabilité.

Depuis 2013, le transfert de la charge de l'indexation des rentes du FGAO vers les assureurs a considérablement accru le coût des sinistres assortis en rentes. La modélisation du risque avec l'indexation des rentes démontre une volatilité supplémentaire générée par l'incertitude qui porte sur l'inflation future. D'autre part, avec solvabilité II, Le capital requis est désormais calculé en fonction de la volatilité des sinistres et de la maîtrise globale des risques.

La maîtrise de la charge des sinistres corporels nécessite une revue de tous les processus clés de la gestion technique de la garantie RC Automobile, allant de la tarification à priori jusqu'à l'indemnisation des victimes en passant par le calcul des provisions, l'achat de la couverture de réassurance et le pilotage de la solvabilité.

La tarification de la garantie RC Automobile est basée sur l'écrêtement des sinistres au-delà d'un certain seuil. Considérés comme sinistres aléatoires, les sinistres sur-crêtes sont lissés sur plusieurs années. Le calibrage de la charge sur-crête devrait être adapté pour tenir compte du coût de l'indexation des rentes. Le calcul des provisions devrait tenir compte du coût supplémentaire lié à la charge de l'indexation des rentes. Ainsi, pour corriger les triangles de liquidation, les évaluations des gestionnaires sinistres (ou les évaluations comptables qui en découlent) devraient être majorées par un coût supplémentaire qui revient à revoir le taux d'escompte des sinistres historiques. Par ailleurs, pour les projections à l'ultime, la prise en compte de la volatilité du risque est indispensable à la robustesse des modèles de provisionnement.

La réassurance permet de réduire l'exposition aux risques et sa volatilité. En modélisant la prime pure de réassurance on peut tirer profit des possibilités offertes par le marché de la réassurance. L'achat de la réassurance pourrait être optimisé en fonction des cotations obtenues et des conditions de couverture. Pour couvrir le risque spécifique de l'indexation des rentes, une alternative consiste à l'achat d'OATi (ou à des produits plus complexes d'adossement actif-passif) pour contrebalancer le coût de l'inflation. Dans ce cas, la couverture est de nature ALM, avec un impact potentiel sur le rendement financier.

Pour finir notre analyse, nous voudrions mettre en exergue le fait que le besoin en capital dans solvabilité II au titre de la RC Automobile augmente significativement par rapport à Solvabilité I. Plusieurs facteurs sont retenus dans la détermination de l'exigence du capital: le risque d'insuffisance de primes et de réserves, le risque catastrophique et la corrélation avec les autres garanties. La complexité des calculs vise à capter la volatilité sous-jacente de la garantie de sorte à couvrir une sinistralité bicentenale. En même temps, elle retient la réassurance non proportionnelle comme un facteur de réduction du coût en capital, en contrepartie de la prise en compte du risque de défaut des réassureurs. Dans l'univers Solvabilité II, le choix des réassureurs (nombre et qualité de notation) devient aussi un critère pour optimiser le besoin en capital.

Nous concluons en rappelant que Solvabilité II est un cadre qui peut être amélioré dans ce domaine. En effet, en raison de l'horizon d'observation limité à un an, le risque d'une dérive de l'inflation d'un portefeuille de rentiers n'est pas capté par la formule standard. De ce fait, les compagnies disposant d'un portefeuille Auto conséquent avec un stock de rentiers important, devront piloter ce risque dans le cadre de l'exercice ORSA afin d'intégrer les différentes problématiques qu'on a identifiées dans ce mémoire.

ANNEXES

Annexe 1 : Définition des postes de préjudice de la nomenclature Dintilhac (Extrait source AFA)

A – NOMENCLATURE DES PREJUDICES CORPORELS DE LA VICTIME DIRECTE

1°) Préjudices patrimoniaux

a) Préjudices patrimoniaux temporaires (avant consolidation) :

Dépenses de santé actuelles

Il s'agit d'indemniser la victime directe du dommage corporel de l'ensemble des frais hospitaliers, médicaux, paramédicaux et pharmaceutiques (infirmiers, kinésithérapie, orthoptie, orthophonie, etc), le paiement de la plupart de ces dépenses étant habituellement pris en charge par les organismes sociaux.

Cependant, il arrive fréquemment qu'à côté de la part payée par l'organisme social, un reliquat demeure à la charge de la victime, ce qui nécessite, afin de déterminer le coût exact de ses dépenses, de les additionner pour en établir le coût réel.

Ces dépenses sont toutes réalisées durant la phase temporaire d'évolution de la pathologie traumatique, c'est-à-dire qu'elles ne pourront être évaluées qu'au jour de la consolidation ou de la guérison de la victime directe.

Frais divers ⁽¹⁾

Il s'agit ici de prendre en compte tous les frais susceptibles d'être exposés par la victime directe avant la date de consolidation de ses blessures. Ce poste de préjudice est donc par nature temporaire.

Il concerne notamment les honoraires que la victime a été contrainte de déboursier auprès de médecins (spécialistes ou non) pour se faire conseiller et assister à l'occasion de l'expertise médicale la concernant.

Il convient également d'inclure, au titre des frais divers, les frais de transport survenus durant la maladie traumatique, dont le coût et le surcoût sont imputables à l'accident.

Enfin, il faut retenir, au titre de ce poste "Frais divers", les dépenses destinées à compenser des activités non professionnelles particulières qui ne peuvent être assumées par la victime directe durant sa maladie traumatique (frais de garde des enfants, soins ménagers, assistance temporaire d'une tierce personne pour les besoins de la vie courante, frais d'adaptation temporaire d'un véhicule ou d'un logement, etc.).

En outre, il convient d'inclure dans ce poste de préjudice les frais temporaires ou ponctuels exceptionnels(notamment les frais exposés par les artisans ou les commerçants lorsqu'ils sont contraints de recourir à du personnel de remplacement durant la période de convalescence où ils sont immobilisés sans pouvoir diriger leur affaire).

A ce stade, il convient de rappeler que la liste de ces frais divers n'est pas exhaustive et qu'il conviendra ainsi d'y ajouter tous les frais temporaires, dont la preuve et le montant sont établis, et qui sont imputables à l'accident à l'origine du dommage corporel subi par la victime.

(1) Après discussion, le groupe de travail a décidé d'exclure les honoraires d'avocat du poste "Frais divers" considérant que ceux-ci ne résultent pas directement du dommage corporel subi par la victime.

Pertes de gains professionnels actuels

Le groupe de travail propose de cantonner les pertes de gains liées à l'incapacité provisoire de travail à la réparation exclusive du préjudice patrimonial temporaire subi par la victime du fait de l'accident, c'est à dire aux pertes actuelles de revenus éprouvées par cette victime du fait de son dommage. Il s'agit là de compenser une invalidité temporaire spécifique qui concerne uniquement les répercussions du dommage sur la sphère professionnelle de la victime jusqu'à sa consolidation.

Bien sûr, ces pertes de gains peuvent être totales, c'est à dire priver la victime de la totalité des revenus qu'elle aurait normalement perçus pendant la maladie traumatique en l'absence de survenance du dommage, ou être partielles, c'est à dire la priver d'une partie de ses revenus sur cette période.

b) Préjudices patrimoniaux permanents (après consolidation) :

Dépenses de santé futures

Les dépenses de santé futures sont les frais hospitaliers, médicaux, paramédicaux, pharmaceutiques et assimilés, même occasionnels mais médicalement prévisibles, rendus nécessaires par l'état pathologique de la victime après la consolidation.

Ils sont postérieurs à la consolidation de la victime, dès lors qu'ils sont médicalement prévisibles, répétitifs et rendus nécessaires par l'état pathologique permanent et chronique de la victime après sa consolidation définitive (frais liés à des hospitalisations périodiques dans un établissement de santé, à un suivi médical assorti d'analyses, à des examens et des actes périodiques, des soins infirmiers, ou autres frais occasionnels, etc.).

Ces frais futurs ne se limitent pas aux frais médicaux au sens strict : ils incluent, en outre, les frais liés soit à l'installation de prothèses pour les membres, les dents, les oreilles ou les yeux, soit à la pose d'appareillages spécifiques qui sont nécessaires afin de suppléer le handicap physiologique permanent qui demeure après la consolidation.

Frais de logement adapté

Ces dépenses concernent les frais que doit déboursier la victime directe à la suite du dommage pour adapter son logement à son handicap et bénéficier ainsi d'un habitat en adéquation avec ce handicap. Ce poste d'indemnisation concerne le remboursement des frais que doit exposer la victime à la suite de sa consolidation, dans la mesure où les frais d'adaptation du logement exposés, à titre temporaire, sont déjà susceptibles d'être indemnisés au titre du poste de préjudice "Frais divers".

Cette indemnisation intervient sur la base de factures, de devis ou même des conclusions du rapport de l'expert sur la consistance et le montant des travaux nécessaires à la victime pour vivre dans son logement.

Ces frais doivent être engagés pendant la maladie traumatique afin de permettre à la victime handicapée de pouvoir immédiatement retourner vivre à son domicile dès sa consolidation acquise.

Ce poste de préjudice inclut non seulement l'aménagement du domicile préexistant, mais éventuellement celui découlant de l'acquisition d'un domicile mieux adapté prenant en compte le surcoût financier engendré par cette acquisition.

En outre, il est possible d'inclure au titre de l'indemnisation de ce poste de préjudice les frais de déménagement et d'emménagement, ainsi que ceux liés à un surcoût de loyer pour un logement plus grand découlant des difficultés de mobilité de la victime devenue handicapée.

Enfin, ce poste intègre également les frais de structure nécessaires pour que la victime handicapée puisse disposer d'un autre lieu de vie extérieur à son logement habituel de type foyer ou maison médicalisée.

Frais de véhicule adapté

Ce poste comprend les dépenses nécessaires pour procéder à l'adaptation d'un ou de plusieurs véhicules aux besoins de la victime atteinte d'un handicap permanent. Il convient d'inclure dans ce poste de préjudice le ou les surcoût(s) lié(s) au renouvellement du véhicule et à son entretien.

En revanche, les frais liés à l'adaptation, à titre temporaire, du véhicule avant la consolidation de la victime ne sont pas à intégrer, car ils sont provisoires et déjà susceptibles d'être indemnisés au titre du poste "Frais divers".

En outre, ce poste doit inclure non seulement les dépenses liées à l'adaptation d'un véhicule, mais aussi le surcoût d'achat d'un véhicule susceptible d'être adapté.

Enfin, il est également possible d'assimiler à ces frais d'adaptation du véhicule les surcoûts en frais de transport rendus nécessaires à la victime en raison de ses difficultés d'accessibilité aux transports en commun survenues depuis le dommage.

Assistance par tierce personne

Ces dépenses sont liées à l'assistance permanente d'une tierce personne pour aider la victime handicapée à effectuer les démarches et plus généralement les actes de la vie quotidienne. Elles visent à indemniser le coût pour la victime de la présence nécessaire, de manière définitive, d'une tierce personne à ses côtés pour l'assister dans les actes de la vie quotidienne, préserver sa sécurité, contribuer à restaurer sa dignité et suppléer sa perte d'autonomie.

Elles constituent des dépenses permanentes qui ne se confondent pas avec les frais temporaires que la victime peut être amenée à déboursier durant la maladie traumatique, lesquels sont déjà susceptibles d'être indemnisés au titre du poste "Frais divers".

Pertes de gains professionnels futurs

Il s'agit ici d'indemniser la victime de la perte ou de la diminution de ses revenus consécutive à l'incapacité permanente à laquelle elle est désormais confrontée dans la sphère professionnelle à la suite du dommage.

Il s'agit d'indemniser une invalidité spécifique partielle ou totale qui entraîne une perte ou une diminution directe de ses revenus professionnels futurs à compter de la date de consolidation. Cette perte ou diminution des gains professionnels peut provenir soit de la perte de son emploi par la victime, soit de l'obligation pour celle-ci d'exercer un emploi à temps partiel à la suite du dommage consolidé.

Ce poste n'englobe pas les frais de reclassement professionnel, de formation ou de changement de poste qui ne sont que des conséquences indirectes du dommage.

En outre, concernant les jeunes victimes ne percevant pas à la date du dommage de gains professionnels, il conviendra de prendre en compte pour l'avenir la privation de ressources professionnelles engendrée par le dommage en se référant à une indemnisation par estimation.

Incidence professionnelle

Ce poste d'indemnisation vient compléter celle déjà obtenue par la victime au titre du poste "pertes de gains professionnels futurs" susmentionné sans pour autant aboutir à une double indemnisation du même préjudice.

Cette incidence professionnelle à caractère définitif a pour objet d'indemniser non pas la perte de revenus liée à l'invalidité permanente de la victime, mais les incidences périphériques du dommage touchant à la sphère professionnelle comme le préjudice subi par la victime en raison de sa dévalorisation sur le marché du travail, de sa perte d'une chance professionnelle, ou de l'augmentation de la pénibilité de l'emploi qu'elle occupe imputable au dommage ou encore du préjudice subi qui a trait à sa nécessité de devoir abandonner la profession qu'elle exerçait avant le dommage au profit d'une autre qu'elle a dû choisir en raison de la survenance de son handicap.

Il convient, en outre, de ranger dans ce poste de préjudice les frais de reclassement professionnel, de formation ou de changement de poste assumés par la sécurité sociale et / ou par la victime elle-même qui sont souvent oubliés, alors qu'ils concernent des sommes importantes. Il s'agit des frais

déboursés par l'organisme social et / ou par la victime elle-même immédiatement après que la consolidation de la victime soit acquise afin qu'elle puisse retrouver une activité professionnelle adaptée une fois sa consolidation achevée : elle peut prendre la forme d'un stage de reconversion ou d'une formation.

Là encore, le pragmatisme doit conduire à ne pas retenir une liste limitative de ces frais spécifiques, mais à l'inverse à inclure dans ce poste de préjudice patrimonial tous les frais imputables au dommage nécessaires à un retour de la victime dans la sphère professionnelle.

Ce poste de préjudice vise cherche également à indemniser la perte de retraite que la victime va devoir supporter en raison de son handicap, c'est à dire le déficit de revenus futurs, estimé imputable à l'accident, qui va avoir une incidence sur le montant de la pension auquel pourra prétendre la victime au moment de sa prise de retraite. Comme pour l'indemnisation du poste précédent, il convient de noter que si les pertes de gains professionnels peuvent être évaluées pour des victimes en cours d'activité professionnelle, elles ne peuvent cependant qu'être estimées pour les enfants ou les adolescents qui ne sont pas encore entrés dans la vie active.

Une fois encore, la liste des préjudices à intégrer dans ce poste est indicative. Ainsi, il peut, par exemple, être prévu une indemnisation, au titre de ce poste, de la mère de famille sans emploi pour la perte de la possibilité, dont elle jouissait avant l'accident, de revenir sur le marché du travail.

Préjudice scolaire, universitaire ou de formation

Ce poste de préjudice à caractère patrimonial a pour objet de réparer la perte d'année(s) d'étude que ce soit scolaire, universitaire, de formation ou autre consécutive à la survenance du dommage subi par la victime directe.

Ce poste intègre, en outre, non seulement le retard scolaire ou de formation subi, mais aussi une possible modification d'orientation, voire une renonciation à toute formation qui obère ainsi gravement l'intégration de cette victime dans le monde du travail.

2°) Préjudices extra-patrimoniaux

a) Préjudices extra-patrimoniaux temporaires (avant consolidation) :

Déficit fonctionnel temporaire

Ce poste de préjudice cherche à indemniser l'invalidité subie par la victime dans sa sphère personnelle pendant la maladie traumatique, c'est à dire jusqu'à sa consolidation.

Cette invalidité par nature temporaire est dégagée de toute incidence sur la rémunération professionnelle de la victime, laquelle est d'ailleurs déjà réparée au titre du poste "Pertes de gains professionnels actuels".

A l'inverse, elle va traduire l'incapacité fonctionnelle totale ou partielle que va subir la victime jusqu'à sa consolidation. Elle correspond aux périodes d'hospitalisation de la victime, mais aussi à la "*perte de qualité de vie et à celle des joies usuelles de la vie courante*" que rencontre la victime pendant la maladie traumatique (séparation de la victime de son environnement familial et amical durant les hospitalisations, privation temporaire des activités privées ou des agréments auxquels se livre habituellement ou spécifiquement la victime, préjudice sexuel pendant la maladie traumatique, etc.).

Souffrances endurées

Il s'agit de toutes les souffrances physiques et psychiques, ainsi que des troubles associés, que doit endurer la victime durant la maladie traumatique, c'est à dire du jour de l'accident à celui de sa

consolidation. En effet, à compter de la consolidation, les souffrances endurées vont relever du déficit fonctionnel permanent et seront donc indemnisées à ce titre.

Préjudice esthétique temporaire

Il a été observé que, durant la maladie traumatique, la victime subissait bien souvent des atteintes physiques, voire une altération de son apparence physique, certes temporaire, mais aux conséquences personnelles très préjudiciables, liées à la nécessité de se présenter dans un état physique altéré au regard des tiers.

Or ce type de préjudice est souvent pris en compte au stade des préjudices extra-patrimoniaux permanents, mais curieusement omis de toute indemnisation au titre de la maladie traumatique où il est pourtant présent, notamment chez les grands brûlés ou les traumatisés de la face.

Aussi, le groupe de travail a décidé d'admettre, à titre de poste distinct, ce chef de préjudice réparant le préjudice esthétique temporaire.

b) Préjudices extra-patrimoniaux permanents (après consolidation) :

Déficit fonctionnel permanent

Ce poste de préjudice cherche à indemniser un préjudice extra-patrimonial découlant d'une incapacité constatée médicalement qui établit que le dommage subi a une incidence sur les fonctions du corps humain de la victime.

Il s'agit ici de réparer les incidences du dommage qui touchent exclusivement à la sphère personnelle de la victime. Il convient d'indemniser, à ce titre, non seulement les atteintes aux fonctions physiologiques de la victime, mais aussi la douleur permanente qu'elle ressent, la perte de la qualité de vie et les troubles dans les conditions d'existence qu'elle rencontre au quotidien après sa consolidation.

En outre, ce poste de préjudice doit réparer la perte d'autonomie personnelle que vit la victime dans ses activités journalières, ainsi que tous les déficits fonctionnels spécifiques qui demeurent même après la consolidation.

Préjudice d'agrément

Ce poste de préjudice vise exclusivement à réparer le préjudice d'agrément spécifique lié à l'impossibilité pour la victime de pratiquer régulièrement une activité spécifique sportive ou de loisirs. Ce poste de préjudice doit être apprécié *in concreto* en tenant compte de tous les paramètres individuels de la victime (âge, niveau, etc.).

Préjudice esthétique permanent

Ce poste cherche à réparer les atteintes physiques et plus généralement les éléments de nature à altérer l'apparence physique de la victime notamment comme le fait de devoir se présenter avec une cicatrice permanente sur le visage.

Préjudice sexuel

Ce poste concerne la réparation des préjudices touchant à la sphère sexuelle. Il convient de distinguer trois types de préjudice de nature sexuelle :

- le préjudice morphologique qui est lié à l'atteinte aux organes sexuels primaires et secondaires résultant du dommage subi ;

- le préjudice lié à l'acte sexuel lui-même qui repose sur la perte du plaisir lié à l'accomplissement de l'acte sexuel (perte de l'envie ou de la libido, perte de la capacité physique de réaliser l'acte, perte de la capacité à accéder au plaisir) ;
- le préjudice lié à une impossibilité ou une difficulté à procréer (ce préjudice pouvant notamment chez la femme se traduire sous diverses formes comme le préjudice obstétrical, etc.).

Préjudice d'établissement

Ce poste de préjudice cherche à indemniser la perte d'espoir, de chance ou de toute possibilité de réaliser un projet de vie familiale "normale" en raison de la gravité du handicap permanent, dont reste atteinte la victime après sa consolidation : il s'agit de la perte d'une chance de se marier, de fonder une famille, d'élever des enfants et plus généralement des bouleversements dans les projets de vie de la victime qui l'obligent à effectuer certaines renoncations sur le plan familial.

Il convient ici de le définir par référence à la définition retenue par le Conseil national de l'aide aux victimes comme la *"perte d'espoir et de chance de normalement réaliser un projet de vie familiale (se marier, fonder une famille, élever des enfants, etc.) en raison de la gravité du handicap"*.

Préjudices permanents exceptionnels

Lors de ses travaux, le groupe de travail a pu constater combien, il était nécessaire de ne pas retenir une nomenclature trop rigide de la liste des postes de préjudice corporel.

Ainsi, il existe des préjudices atypiques qui sont directement liés aux handicaps permanents, dont reste atteinte la victime après sa consolidation et dont elle peut légitimement souhaiter obtenir une réparation.

c) Préjudices extra-patrimoniaux évolutifs (hors consolidation) :

Préjudices liés à des pathologies évolutives

Il s'agit d'un poste de préjudice relativement récent qui concerne toutes les pathologies évolutives. Il s'agit notamment de maladies incurables susceptibles d'évoluer et dont le risque d'évolution constitue en lui-même un chef de préjudice distinct qui doit être indemnisé en tant que tel.

C'est un chef de préjudice qui existe en dehors de toute consolidation des blessures, puisqu'il se présente pendant et après la maladie traumatique. Tel est le cas du préjudice lié à la contamination d'une personne par le virus de l'hépatite C, celui du V.I.H., la maladie de Creutzfeldt-Jakob ou l'amiante, etc.

A – NOMENCLATURE DES PREJUDICES CORPORELS DES VICTIMES INDIRECTES

1°) Préjudices des victimes indirectes en cas de décès de la victime directe

a) Préjudices patrimoniaux

Frais d'obsèques

Ce poste de préjudice concerne les frais d'obsèques et de sépulture que vont devoir assumer les proches de la victime directe à la suite de son décès consécutif à la survenance du dommage.

Pertes de revenus des proches

Le décès de la victime directe va engendrer des pertes ou des diminutions de revenus pour son conjoint (ou son concubin) et ses enfants à charge, c'est à dire pour l'ensemble de la famille proche

du défunt. Ces pertes ou diminutions de revenus s'entendent de ce qui est exclusivement lié au décès et non des pertes de revenus des proches conséquences indirectes du décès.

En outre, il convient de réparer, au titre de ce poste, la perte ou la diminution de revenus subie par les proches de la victime directe, lorsqu'ils sont obligés d'assurer jusqu'au décès de celle-ci une présence constante et d'abandonner temporairement leur emploi.

Frais divers des proches

Ce poste de préjudice vise à indemniser les proches de la victime directe des frais divers que ceux-ci ont pu engager à l'occasion de son décès ; ce sont principalement des frais de transports, d'hébergement et de restauration.

b) Préjudices extra-patrimoniaux

Le préjudice d'accompagnement

Il s'agit ici de réparer un préjudice moral, dont sont victimes les proches de la victime directe pendant la maladie traumatique de celle-ci jusqu'à son décès.

Ce poste de préjudice a pour objet d'indemniser les bouleversements que le décès de la victime directe entraîne sur le mode de vie de ses proches au quotidien.

Le préjudice d'accompagnement traduit les troubles dans les conditions d'existence d'un proche, qui partageait habituellement une communauté de vie effective avec la personne décédée à la suite du dommage.

Le préjudice d'affection

Il s'agit d'un poste de préjudice qui répare le préjudice d'affection que subissent certains proches à la suite du décès de la victime directe. Il convient d'inclure, à ce titre, le retentissement pathologique avéré que le décès a pu entraîner chez certains proches.

En pratique, il y a lieu d'indemniser quasi-automatiquement les préjudices d'affection des parents les plus proches de la victime directe (père et mère, etc.).

Cependant, il convient également d'indemniser, à ce titre, des personnes dépourvues de lien de parenté, des lors qu'elles établissent par tout moyen avoir entretenu un lien affectif réel avec le défunt.

2°) Préjudices des victimes indirectes en cas de survie de la victime directe

a) Préjudices patrimoniaux

Perte de revenus des proches

Le handicap dont reste atteint la victime directe à la suite du dommage corporel, va engendrer une perte ou une diminution de revenus pour son conjoint (ou son concubin) et ses enfants à charge. Dans ce cas, il y a lieu de prendre comme élément de référence, le préjudice annuel du foyer avant le dommage ayant entraîné son handicap en tenant compte de la part d'autoconsommation de la victime directe et du salaire qui continue à être perçu par son conjoint (ou son concubin).

En outre, il convient de réparer au titre de ce poste, la perte ou la diminution de revenus subie par les proches de la victime directe lorsqu'ils sont obligés, pour assurer une présence constante auprès de la victime handicapée d'abandonner temporairement, voire définitivement, leur emploi.

Frais divers des proches

Ce poste de préjudice vise à indemniser les proches de la victime directe des frais divers que ceux-ci ont pu engager pendant ou après la maladie traumatique de la victime survivante atteinte d'un handicap, ce sont principalement des frais de transports, d'hébergement et de restauration.

b) Préjudices extra-patrimoniaux

Préjudice d'affection

Il s'agit d'un poste de préjudice qui répare le préjudice d'affection que subissent certains proches à la suite de la survie handicapée de la victime directe. Il s'agit du préjudice moral subi par certains proches à la vue de la douleur de la déchéance et de la souffrance de la victime directe. Il convient d'inclure à ce titre le retentissement anthologique avéré que la perception du handicap de la victime survivante a pu entraîner chez certains proches.

Préjudices extra-patrimoniaux exceptionnels

Il s'agit ici notamment de réparer le préjudice de changement dans les conditions de l'existence, dont sont victimes les proches de la victime directe pendant sa survie handicapée.

Ce poste de préjudice a pour objet d'indemniser les bouleversements que la survie douloureuse de la victime directe entraîne sur le mode de vie de ses proches au quotidien.

Il convient d'inclure au titre de ce poste de préjudice le retentissement sexuel vécu par le conjoint ou le concubin à la suite du handicap subi par la victime directe pendant la maladie traumatique et après sa consolidation.

Annexe 2 : Barème IRCA 2014 (concerne les victimes consolidées en 2014)

A - INCAPACITE PERMANENTE

Ages / IPP	Valeurs	IPP 1%	IPP 2%	IPP 3%	IPP 4%	IPP 5%
- de 20 ans	Plancher	1 093	1 166	1 250	1 271	1 291
- de 20 ans	Plafond	1 547	1 621	1 704	1 724	1 745

Ages / IPP	Valeurs	IPP 1%	IPP 2%	IPP 3%	IPP 4%	IPP 5%
20-39 ans	Plancher	917	1 013	1 107	1 126	1 140
20-39 ans	Plafond	1 370	1 468	1 561	1 580	1 594

Ages / IPP	Valeurs	IPP 1%	IPP 2%	IPP 3%	IPP 4%	IPP 5%
40 – 49 ans	Plancher	768	816	890	905	919
40 – 49 ans	Plafond	1 221	1 270	1 344	1 359	1 374

Ages / IPP	Valeurs	IPP 1%	IPP 2%	IPP 3%	IPP 4%	IPP 5%
50 – 59 ans	Plancher	628	681	753	772	781
50 – 59 ans	Plafond	1 082	1 135	1 207	1 227	1 237

Ages / IPP	Valeurs	IPP 1%	IPP 2%	IPP 3%	IPP 4%	IPP 5%
60 – 69 ans	Plancher	567	608	656	687	724
60 – 69 ans	Plafond	1 021	1 063	1 111	1 141	1 179

Ages / IPP	Valeurs	IPP 1%	IPP 2%	IPP 3%	IPP 4%	IPP 5%
+ 70 ans	Plancher	547	555	564	572	580
+ 70 ans	Plafond	1 001	1 009	1 019	1 027	1 036

B - SOUFFRANCES ENDURÉES

Souffrances endurées qualifiées :

Demi degré	Plancher	Plafond
0.5	245	513
1	563	1 201
1.5	598	1 555
2	1 469	2 871
2.5	1 635	3 814
3	2 451	5 269

C - PREJUDICE ESTHÉTIQUE PERMANENT (PEP)

Demi degré	Plancher	Plafond
0.5	261	731
1	649	1 341
1.5	922	2 027

2	1 213	3 063
2.5	1 653	4 153
3	2 727	6 127

D - Déficit fonctionnel temporaire

Recours au coût réel plafonné aux valeurs mensuelles :

GTT	723
GTP - Classe 4	542
GTP - Classe 3	362
GTP - Classe 2	181
GTP - Classe 1	72

E - Forfait pour les recours sans DFP

Accidents survenus à compter du 01/01/2014 : forfait 1 518 €

F – Franchise et Plafond

Franchise et plafond du chapitre 6 :

La franchise absolue de recours est de 30 000 euros par victime plafonnée à 80 000 euros par assureur d'un même véhicule.

Plafond jusqu'auquel l'arbitrage est obligatoire :

Le plafond jusqu'auquel l'arbitrage est obligatoire est de 100 000 euros.

Préjudice vestimentaire :

La franchise absolue de recours est de 500 euros.

Annexe 3 : Répartition des victimes selon la gravité en 2011 (Source AFA)

	Répartition en nombre	Répartition en montant
Blessés légers sans AIPP	73%	8%
Blessés légers avec AIPP	26%	82%
dont : 1 à 5%	19%	13%
6 à 19%	6%	25%
20% et plus	1%	44%
Décès	1%	10%
Ensemble	100%	100%

Annexe 4 : Poids des différents préjudices indemnisés des blessés avec AIPP selon la gravité

	Blessés avec AIPP	Blessés selon le taux d'AIPP :		
		1 à 5 %	6 à 49 %	50 % et plus
Frais de santé	23,9 %	23,2 %	28,1 %	19,1 %
Dépenses santé actuelles	20,5 %	23,0 %	27,1 %	12,2 %
Dépenses santé futures	3,4 %	0,2 %	1,0 %	6,9 %
Préjudices professionnels (actuels+futurs)	20,8 %	18,9 %	27,2 %	13,7 %
Pertes de gains professionnels actuels	7,9 %	17,1 %	11,9 %	1,8 %
Pertes de gains professionnels futurs	9,8 %	0,8 %	10,1 %	10,8 %
Incidence professionnelle	2,9 %	0,8 %	4,9 %	1,0 %
Préjudice scolaire & universitaire	0,2 %	0,2 %	0,3 %	0,0 %
Déficit fonctionnel permanent	17,4 %	24,3 %	18,7 %	14,3 %
Tierce personne	17,2 %	0,3 %	4,4 %	36,1 %
Préjudices personnels	9,1 %	22,9 %	10,9 %	3,8 %
Souffrances endurées	6,2 %	19,8 %	7,0 %	2,0 %
Préjudice esthétique temporaire	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,0 %
Préjudice esthétique permanent	1,4 %	2,3 %	1,9 %	0,6 %
Préjudice d'agrément	1,4 %	0,7 %	1,9 %	1,1 %
Autres	11,7 %	10,5 %	10,8 %	13,0 %
Déficit fonctionnel temporaire	2,8 %	6,8 %	3,6 %	0,7 %
Dont gêne temporaire résiduelle (GTR)	0,3 %	1,4 %	0,2 %	0,0 %
Dont gêne temporaire partielle (GTP)	0,9 %	0,6 %	1,4 %	0,5 %
Dont gêne temporaire totale (GTT)	1,7 %	4,8 %	2,0 %	0,2 %
Frais divers	3,8 %	1,7 %	3,0 %	5,3 %
Aménagement logement & véhicule	1,2 %	0,0 %	0,3 %	2,5 %
Préjudice sexuel	0,3 %	0,0 %	0,2 %	0,5 %
Autres indemnités	3,6 %	1,9 %	3,6 %	4,1 %
Ensemble	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Annexe 5 : Article A331-10

- Modifié par Arrêté 2005-12-29 art. 1 JORF 29 décembre 2005 en vigueur le 1er janvier 2006
- Modifié par [Loi n°2005-1564 du 15 décembre 2005 - art. 14 \(V\) JORF 16 décembre 2005](#)

Les provisions techniques des rentes d'incapacité et d'invalidité issues de contrats d'assurance couvrant des risques visés au 3° du premier alinéa de l'article L. 310-1 du code des assurances sont la somme :

1° Des provisions correspondant aux rentes d'incapacité de travail à verser après le 31 décembre de l'exercice au titre des sinistres en cours à cette date majorées des provisions dites pour rentes en attente relatives aux rentes d'invalidité susceptibles d'intervenir ultérieurement au titre des sinistres d'incapacité en cours au 31 décembre de l'exercice ;

2° Des provisions correspondant aux rentes d'invalidité à verser après le 31 décembre de l'exercice au titre des sinistres d'invalidité en cours à cette date.

Le calcul des provisions techniques de prestations d'incapacité de travail et d'invalidité est effectué à partir des éléments suivants :

1° Une loi de survie en invalidité définie par la table TD 88-90 homologuée par l'arrêté du 27 avril 1993 réactualisant les tables de mortalité ;

Toutefois, il est possible pour une entreprise d'assurances d'utiliser une loi de survie en invalidité établie par l'entreprise d'assurance et certifiée par un actuair indépendant de cette entreprise, agréé à cet effet par l'une des associations d'actuaires reconnues par l'Autorité de contrôle des assurances et des mutuelles ;

2° Un taux d'actualisation qui ne peut excéder 60 % du taux moyen des emprunts de l'Etat français calculé sur base semestrielle, sans pouvoir dépasser 3,5 %

Annexe 6 : Historique de l'IPC et du taux de revalorisation

Année	IPC annuel*	Inflation moyenne annuelle
1990	86,2	-
1991	89,0	3,2%
1992	91,1	2,4%
1993	93,0	2,1%
1994	94,5	1,6%
1995	96,2	1,8%
1996	98,1	2,0%
1997	99,3	1,2%
1998	100,0	0,7%
1999	100,5	0,5%
2000	102,2	1,7%
2001	103,9	1,7%
2002	105,9	1,9%
2003	108,1	2,1%
2004	110,4	2,1%
2005	112,4	1,8%
2006	114,2	1,6%
2007	115,9	1,5%
2008	119,2	2,8%
2009	119,3	0,1%
2010	121,1	1,5%
2011	123,7	2,1%
2012	126,1	2,0%
2013	127,2	0,9%
2014	127,9	0,5%
2015	127,9	0,0%

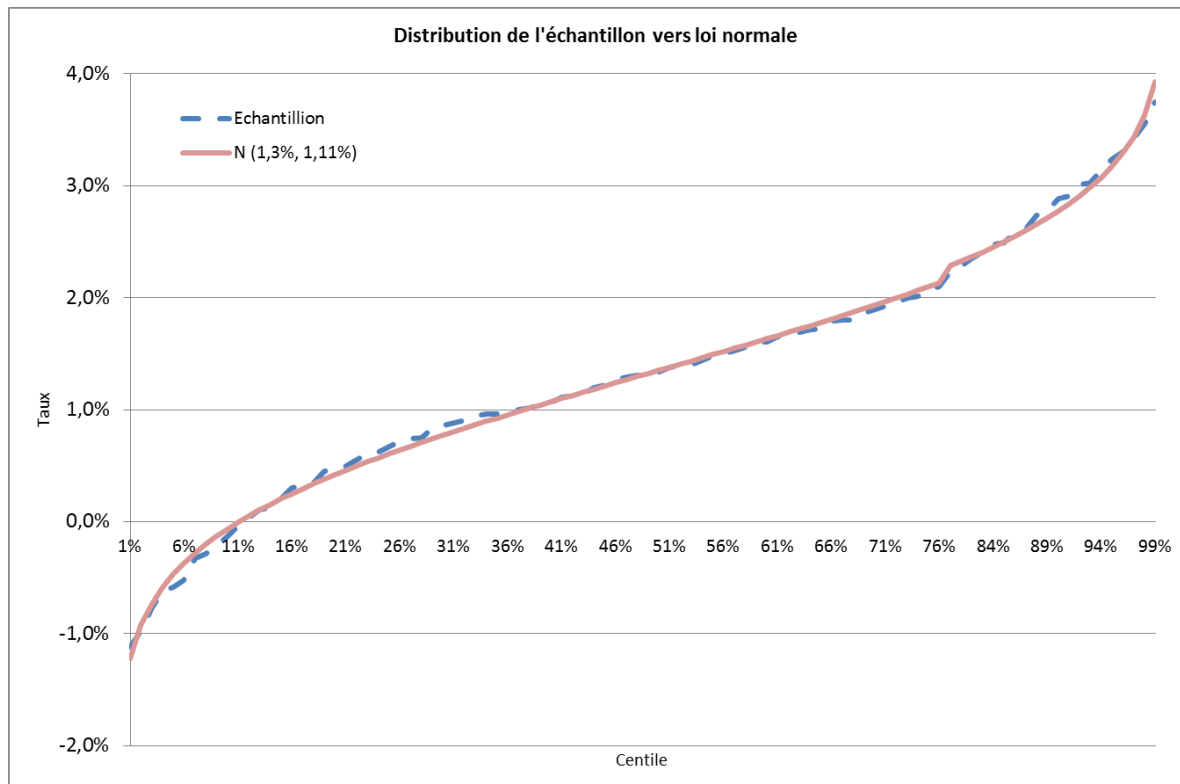
(*) Ensemble des ménages, métropole + DOM, base 1998

Source : INSEE

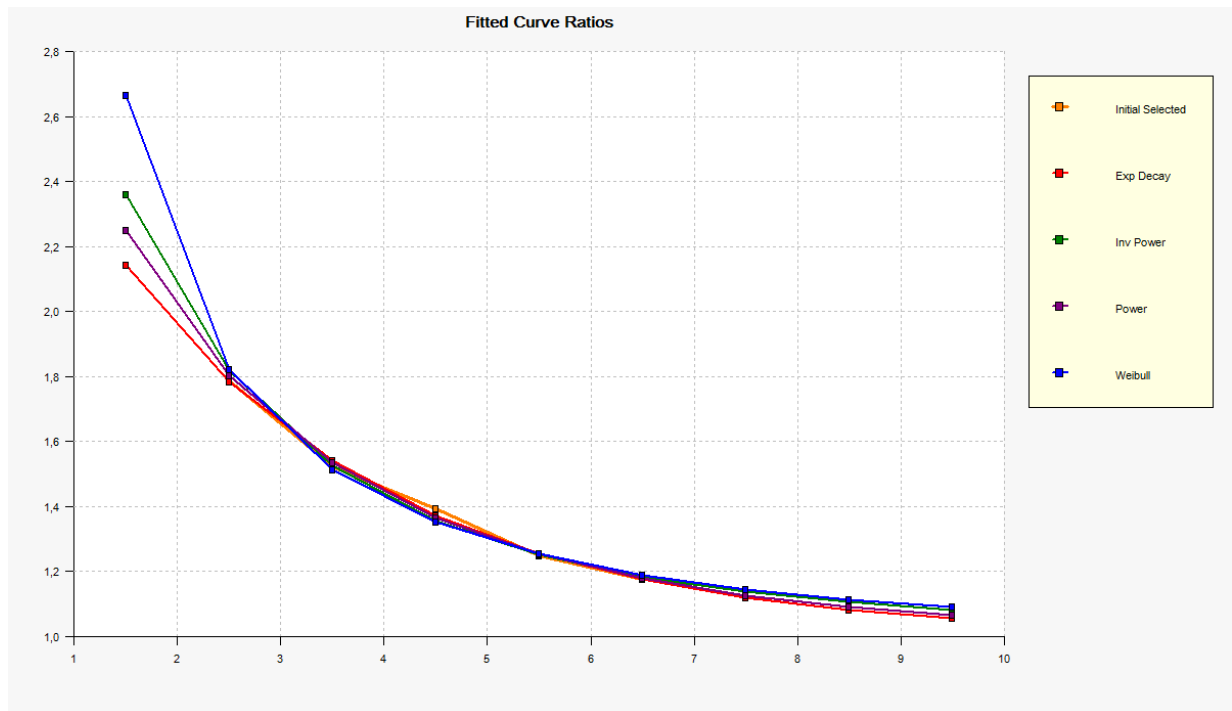
Date de publication*	Taux de revalorisation retenu
01/1990	2,2%
07/1990	1,3%
01/1991	1,7%
07/1991	0,8%
01/1992	1,0%
07/1992	1,8%
01/1993	1,3%
01/1994	2,0%
01/1995	1,2%
07/1995	0,5%
01/1996	2,0%
01/1997	1,2%
01/1998	1,1%
01/1999	1,2%
01/2000	0,5%
01/2001	2,2%
01/2002	2,2%
01/2003	1,5%
01/2004	1,7%
01/2005	2,0%
01/2006	1,8%
01/2007	1,8%
01/2008	1,1%
09/2008	0,8%
04/2009	1,0%
04/2010	0,9%
04/2011	2,1%
04/2012	2,1%
04/2013	1,3%
04/2014	0,6%
04/2015	0,0%

(*) Communiqué par le Ministère de l'Economie.

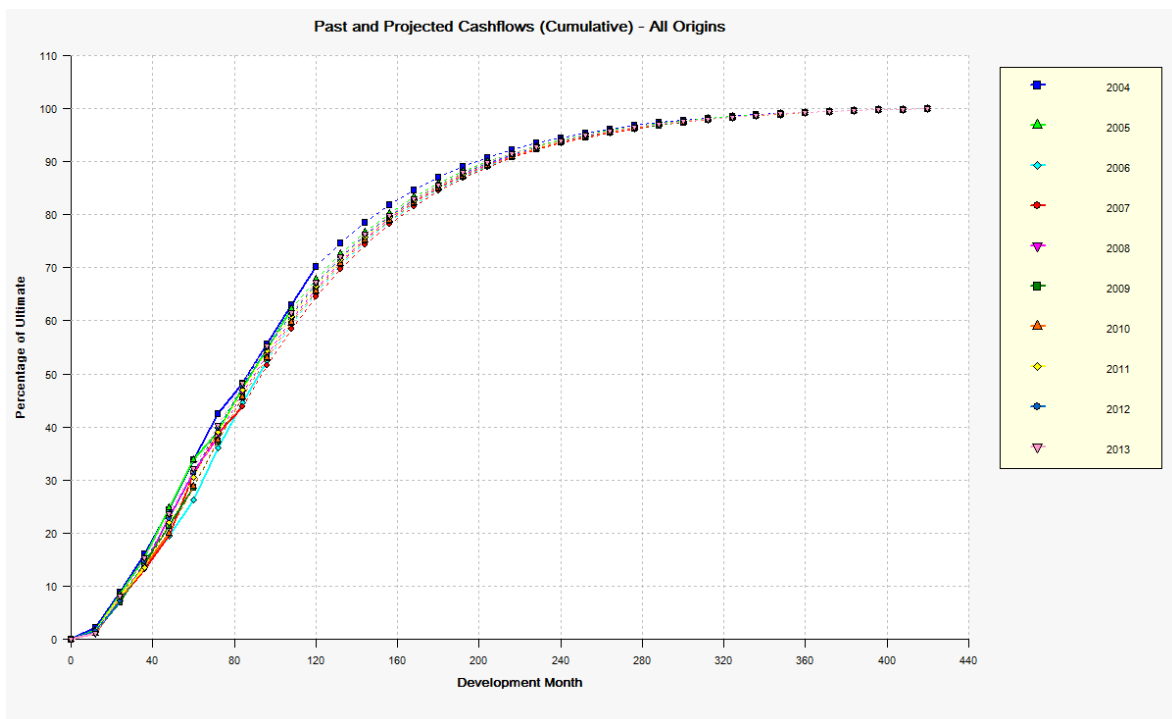
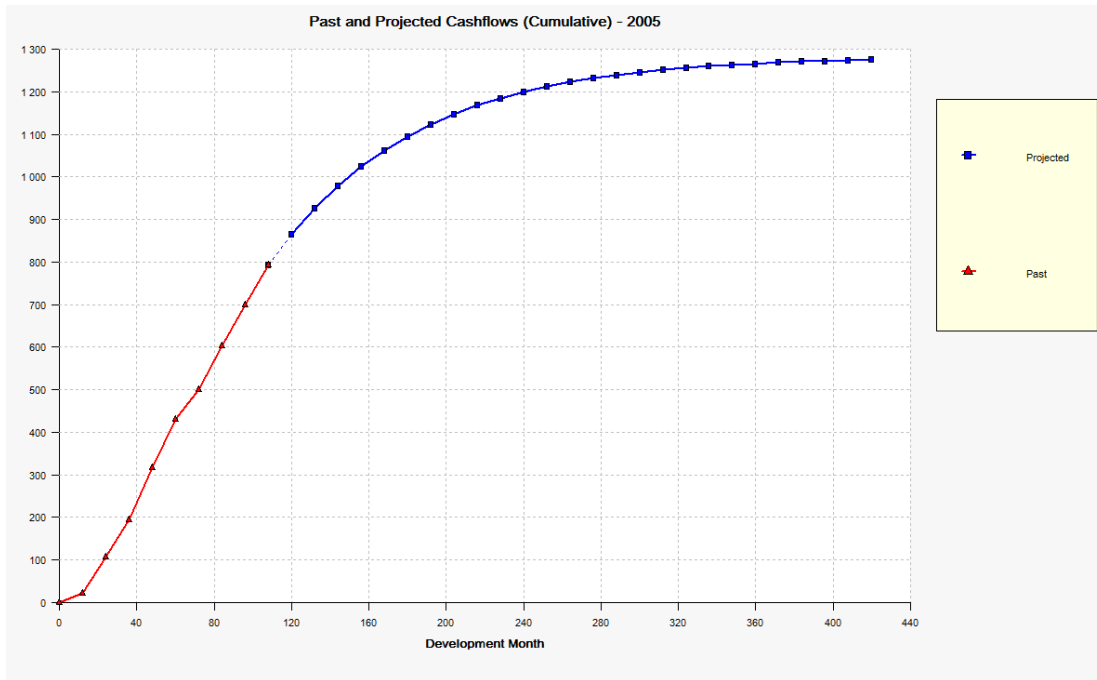
Annexe 7 : Test d'adéquation historique taux de spread vs loi normale



Annexe 8 : Ajustement des ratios Chain Ladder



Annexe 9 : Projection des cash-flows futures



Annexe 10 : Famille exponentielle

Composantes de la famille exponentielle

Distribution	$\theta(\mu)$	$b(\theta)$	$a(\varphi_0)$
Normale $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$	μ	$\frac{\theta^2}{2}$	σ^2
Bernoulli $\mathcal{B}(1, \mu)$	$\log \frac{\mu}{1-\mu}$	$\log(1 + e^\theta)$	1
Poisson $\mathcal{P}(\mu)$	$\log \mu$	\exp^θ	1
Gamma $\mathcal{G}(\mu, \nu)$	$-\frac{1}{\mu}$	$-\log(-\theta)$	1
Gauss Inverse $\mathcal{IG}(\mu, \sigma^2)$	$-\frac{1}{2\mu^2}$	$-\sqrt{-2\theta}$	σ^2

Espérance et variance des lois de la famille exponentielle.

Distribution	$\mu = E(Y) = b'(\theta)$	$V(Y) = b''(\theta)a(\varphi_0)$
Normale	θ	σ^2
Bernoulli	$\frac{\theta}{1 + e^\theta}$	$\mu(1 - \mu)$
Poisson	e^θ	μ
Gamma	$-\frac{1}{\theta}$	$\frac{\mu^2}{2}$
Gauss Inverse	$\frac{1}{\sqrt{-2\theta}}$	$\mu^3 \sigma^2$

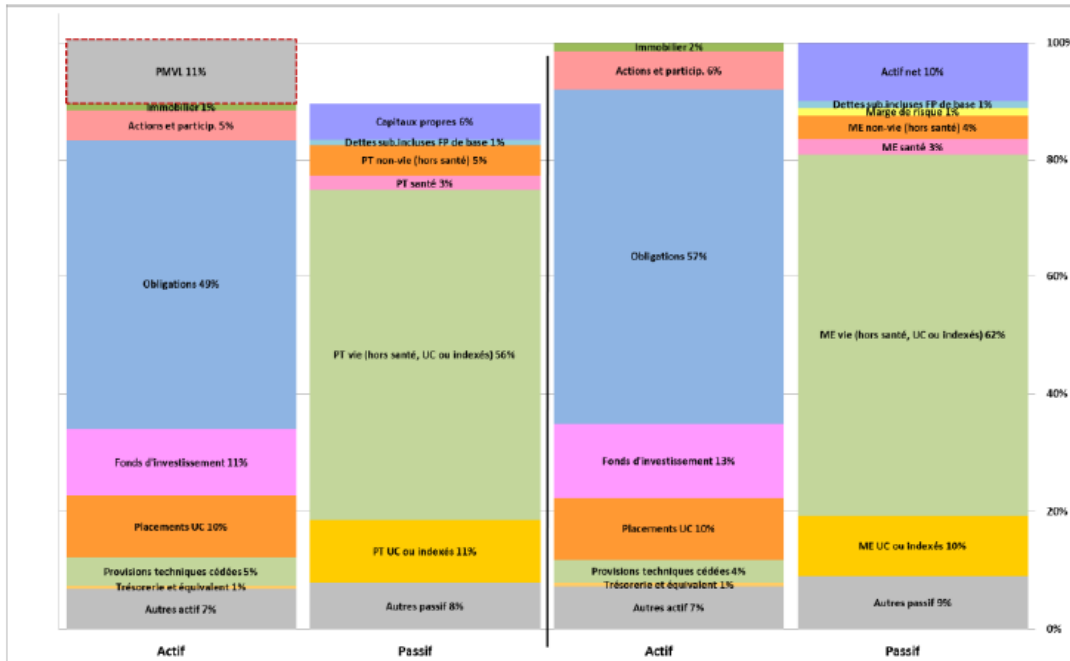
Annexe 11 : Caractéristiques générales des OATi

(Source : Agence France Trésor)

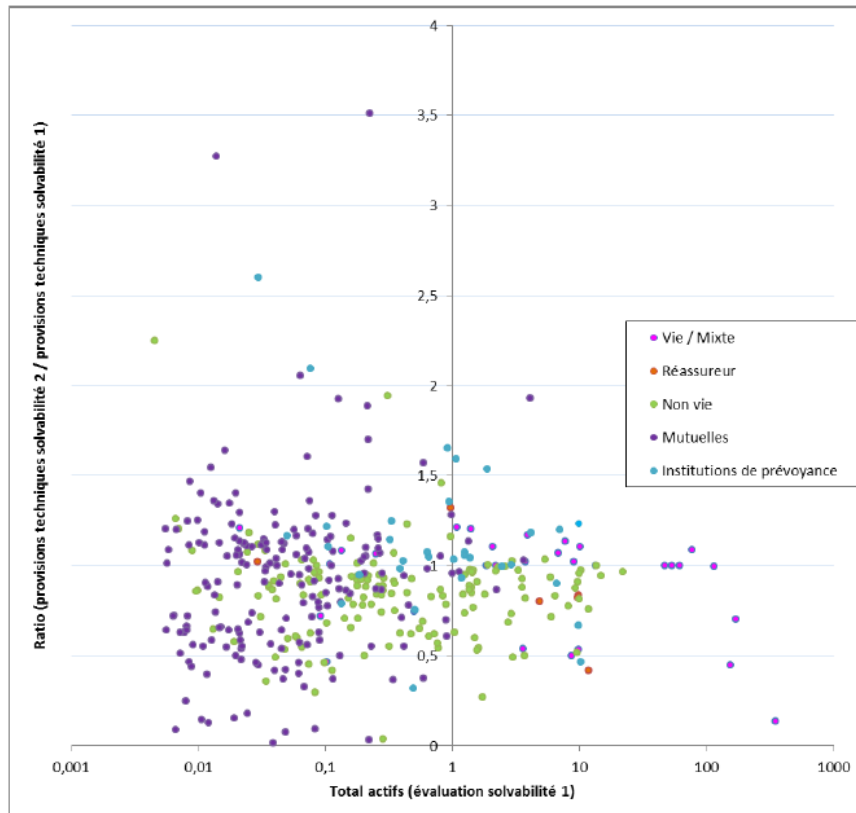
Caractéristiques générales des OATi	
Nominal	1 €
Coupon réel	Pourcentage fixe du principal indexé, déterminé lors de l'émission et fixé pour la durée de vie du titre.
Coupon payé	Coupon annuel postdéterminé calculé selon la formule suivante : coupon réel x nominal x coefficient d'indexation.
Indice de référence	Indice des prix à la consommation (IPC) hors tabac, pour l'ensemble des ménages résidant en France, publié mensuellement par l'INSEE.
Référence quotidienne d'inflation	Référence quotidienne calculée par interpolation linéaire selon la formule suivante : - la référence applicable au premier jour du mois m est l'IPC du mois m-3. Par exemple, la référence applicable au 1er juin est l'IPC du mois de mars ; - la référence pour un autre jour j du mois m est calculée par interpolation linéaire entre l'IPC du mois m-3 et l'IPC du mois m-2, selon la formule suivante : $\text{Référence}_j = \text{IPC}_{m-3} + \frac{nj-1}{NJ_m} \times (\text{IPC}_{m-2} - \text{IPC}_{m-3})$ avec : NJ_m : nombre de jours du mois m, IPC_{m-2} : indice des prix du mois m-2, nj : numéro du jour du mois, IPC_{m-3} : indice des prix du mois m-3.
Règles d'arrondis	Les références quotidiennes d'inflation, y compris la référence de base, sont arrondies au plus près à la cinquième décimale après avoir tronqué le résultat à la sixième décimale. La même règle est appliquée au coefficient d'indexation.
Référence de base	Référence quotidienne à partir de laquelle est calculée l'évolution de l'indice des prix.
Coefficient d'indexation	Cl_j = référence quotidienne d'inflation du jour j / référence de base. Même règle d'arrondi que pour la référence quotidienne d'inflation.
Modalités de publication	La référence quotidienne d'inflation et le coefficient d'indexation sont calculés et publiés par l'Agence France Trésor par l'intermédiaire des principaux systèmes de rediffusion d'informations financières en temps réel (pages Reuters pour la référence quotidienne française d'inflation, et respectivement pour les coefficients d'indexation 10 ans et 30 ans des OATi, pour la référence quotidienne zone euro d'inflation et pour le coefficient d'indexation de la ligne 10 ans de l'OATéi ; Bloomberg TRESOR, www.aft.gouv.fr).
Mode d'indexation	Tous les flux, coupon couru, coupon plein et principal sont payés en appliquant le coefficient d'indexation adéquat.
Remboursement	Nominal x coefficient d'indexation. Au cas où la référence quotidienne d'inflation à maturité serait inférieure à la référence de base, le remboursement est garanti égal au nominal.
Coupon couru	Coupon réel x (nombre de jours courus / nombre de jours exact de la période de coupon) x nominal x coefficient d'indexation.

Annexe 12 : Résultats QIS à fin 2014 Principaux résultats de l'exercice 2014 de préparation à Solvabilité II en non vie (source ACPR)

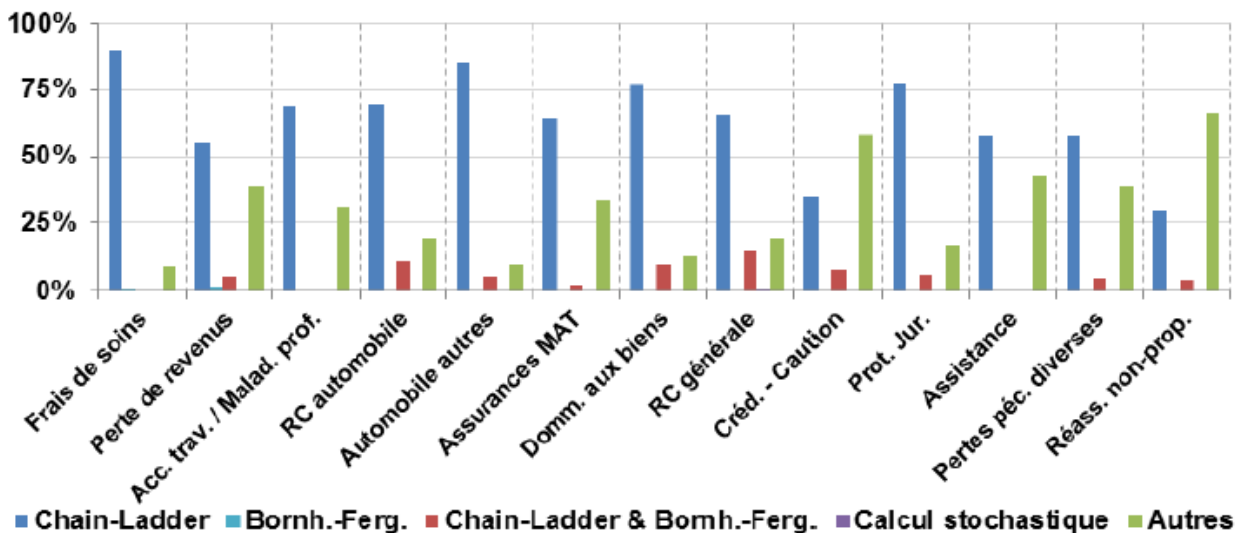
Structure du bilan agrégé de l'ensemble des organismes, dans les comptes sociaux (gauche) et sous Solvabilité II (droite)



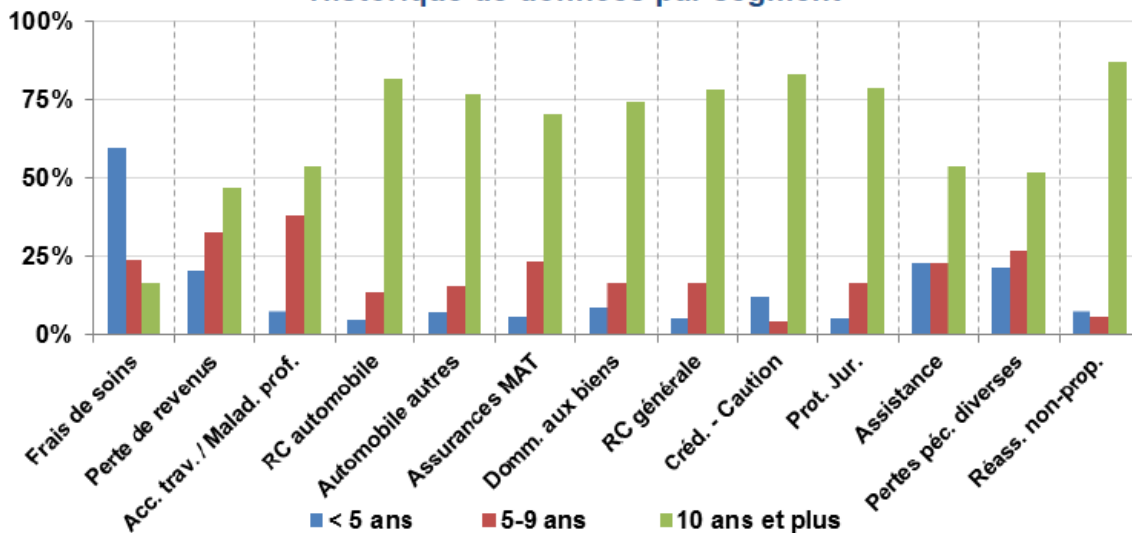
Provisions techniques non vie en valorisation SI et SII (en milliards d'euros)



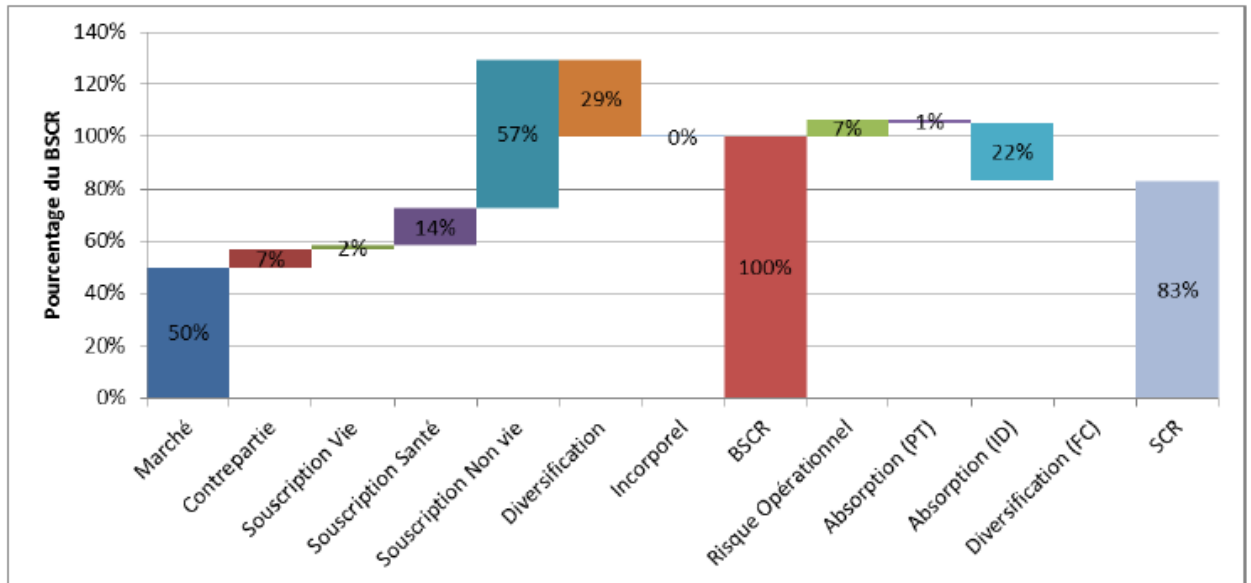
Méthode de calcul de la meilleure estimation des provisions de sinistres par segment



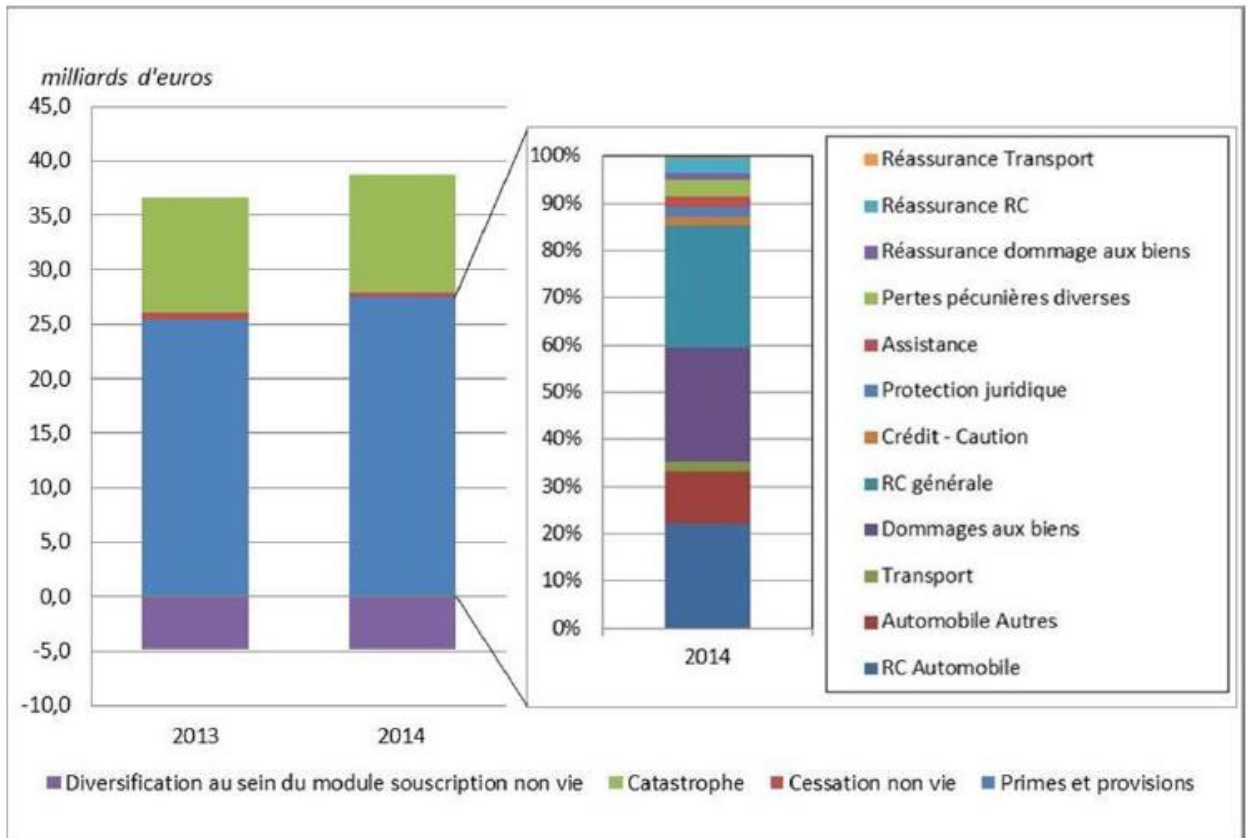
Historique de données par segment



Structure du capital de solvabilité requis (SCR), organismes non vie



Décomposition du SCR souscription non vie



Annexe 13 : Sous module risque CAT Méthode par facteur de risque

Le capital requis est donnée par la formule suivante :

$$NL_{CAT} = \sqrt{\left(\left(\sqrt{\sum_{t=1,2,3,5} (c_t \times P_t)^2} + c_{11} \times P_{11} \right)^2 + \sum_{t=4,7,8,9,10,13} (c_t \times P_t)^2 + (c_6 \times P_6 + c_{12} \times P_{12})^2 \right)}$$

Où

P_t : estimations des primes émises à venir pour les branches affectées par la catastrophe

c_t : facteur de risque par catastrophe appliqué à tous les pays

Events	Lines of business affected	Gross Factor c_t
Storm	Fire and property; Motor, other classes	175%
Flood	Fire and property; Motor, other classes	113%
Earthquake	Fire and property; Motor, other classes	120%
Hail	Motor, other classes	30%
Major fires, explosions	Fire and property	175%
Major MAT disaster	MAT	100%
Major motor vehicle liability disasters	Motor vehicle liability	40%
Major third party liability disaster	Third party liability	85%
Credit	Credit	139%
Miscellaneous	Miscellaneous	40%
NPL Property	NPL Property	250%
NPL MAT	NPL MAT	250%
NPL Casualty	NPL Casualty	250%

Annexe 14 : Segmentation Solvabilité II

A. Non-life insurance obligations

- 1) Medical expense insurance - Medical expense insurance obligations where the underlying business is not pursued on a similar technical basis to that of life insurance, other than obligations included in the LOB 3.
- 2) Income protection insurance - Income protection insurance obligations where the underlying business is not pursued on a similar technical basis to that of life insurance, other than obligations included in the LOB 3.
- 3) Workers' compensation insurance - Health insurance obligations which relate to accidents at work, industrial injury and occupational diseases and where the underlying business is not pursued on a similar technical basis to that of life insurance.
- 4) Motor vehicle liability insurance - Insurance obligations which cover all liabilities arising out of the use of motor vehicles operating on land (including carrier's liability).
- 5) Other motor insurance - Insurance obligations which cover all damage to or loss of land vehicles (including railway rolling stock).
- 6) Marine, aviation and transport insurance - Insurance obligations which cover all damage or loss to sea, lake, river and canal vessels, aircraft, and damage to or loss of goods in transit or baggage irrespective of the form of transport. Insurance obligations which cover liabilities arising out of the use of aircraft, ships, vessels or boats on the sea, lakes, rivers or canals (including carrier's liability).
- 7) Fire and other damage to property insurance - Insurance obligations which cover all damage to or loss of property other than those included in the LOB 5 and 6 due to fire, explosion, natural forces including storm, hail or frost, nuclear energy, land subsidence and any event such as theft.
- 8) General liability insurance - Insurance obligations which cover all liabilities other than those in the LOB 4 and 6.
- 9) Credit and suretyship insurance - Insurance obligations which cover insolvency, export credit, instalment credit, mortgages, agricultural credit and direct and indirect suretyship.
- 10) Legal expenses insurance - Insurance obligations which cover legal expenses and cost of litigation.
- 11) Assistance - Insurance obligations which cover assistance for persons who get into difficulties while travelling, while away from home or while away from their habitual residence.
- 12) Miscellaneous financial loss - Insurance obligations which cover employment risk, insufficiency of income, bad weather, loss of benefit, continuing general expenses, unforeseen trading expenses, loss of market value, loss of rent or revenue, indirect trading losses other than those mentioned above, other financial loss (non-trading) as well as any other risk of non-life insurance not covered by the LOB 1 to 11.

B. Proportional non-life reinsurance obligations

- The LOB 13 to 24 shall include proportional reinsurance obligations which relate to the obligations included in LOB 1 to 12 respectively.

C. Non-proportional non-life reinsurance obligations

13) Non-proportional health reinsurance - Non-proportional reinsurance obligations relating to insurance obligations included in LOB 1 to 3.

14) Non-proportional casualty reinsurance - Non-proportional reinsurance obligations relating to insurance obligations included in LOB 4 and 8.

15) Non-proportional marine, aviation and transport reinsurance - Non-proportional reinsurance obligations relating to insurance obligations included in LOB 6.

16) Non-proportional property reinsurance - Non-proportional reinsurance obligations relating to insurance obligations included in LOB 5, 7 & 9-12.

Bibliographie

Ouvrages

PARTRAT C., LECOEUR E., NESSI J.M., NISIPASU E., REIZ O. [2007] *Provisionnement technique en assurance non-vie, Perspectives actuarielles modernes*, Paris : Economica
DENUIT M., CHARPENTIER A. [2005] *MathIT M., CHARPE'assurance non-vie*, Paris : Economica
REGAZZONI Y., SANDER J. [1997], *Les provisions techniques : une approche par simulation*, Bulletin Français d'Actuariat, Vol. 1, n°2, pp. 81-95.
DROESBEKE Jean-Jacques, LEJEUNE Michel, SAPORTA [2005] Gilbert, *Modèles statistiques pour données qualitatives*, Paris : Technip.

Publications

Analyse du risque de contrepartie de la réassurance pour les assureurs français
Analyse de l'exercice 2014 de préparation à Solvabilité II, ACPR, analyses et synthèses, février 2014
Dreyfuss M.-L. et Kaltwasser P. [2009], "Analyses et Synthèses Spécial Réassurance", ACAM, n°3, avril.
Rapport du groupe de travail sur le calcul du best estimate en assurance dommages, 21 novembre 2007.
Focus Solvabilité II : numéro spécial Omnibus II – ACPR, février 2014
MERZ M., WÜTHRICH M.V. [2008] Modelling The Claims Development Result For Solvency Purposes, CASACT.

Textes règlementaires

Article 27 du rapport Christian ECKERT, ASSEMBLÉE NATIONALE N° 465, 28 novembre 2012
Code des assurances : Articles A331-10, R211-7 et A211-1-3
Code civil : Article 1382, 1383 et 1384
Code de la Sécurité Sociale
Articles L. 455, L434-17 et L. 161-23-1
Directive 2009/138/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2009 sur l'accès aux activités de l'assurance et de la réassurance et leur exercice
Règlement délégué (UE) 2015/35 de la Commission du 10 octobre 2014
NOTICE « Solvabilité II », Provisions techniques (y compris mesures « branches longues ») 2015 (Version en date du 17/12/2015)

Mémoires

Clélia Sauvet : « *Solvabilité II : Quelle modélisation stochastique des provisions techniques en non vie ?* » ; Mémoire ISFA, 2006
Ilan HABIB, Stéphane RIBAN : « *Quelle méthode de provisionnement pour des engagements non-vie dans Solvabilité 2 ?* », INSAE, 2012

Sites internet

http://www.fnvictimesdelaroute.asso.fr/calcul_prejudices.php#PMSCD
<http://www.senat.fr/rap/l12-213-1/l12-213-187.html>
<http://www.gema.fr/lettre-gema/du-nouveau-pour-les-rentes-auto.html>
http://www.lesechos.fr/19/09/2012/LesEchos/21273-154-ECH_accidentees---la-revalorisation-des-rentes-incombera-aux-assureurs.htm
<http://actuassurance.free.fr/actlegis002>
<http://acpr.banque-france.fr/solvabilite2/eiopa.html>
<https://eiopa.europa.eu/publications/eiopa-guidelines>