



Mémoire présenté le :

pour l'obtention du Diplôme Universitaire d'actuariat de l'ISFA et l'admission à l'Institut des Actuaire

Par : OROZCO PENALOZA Sergio

Titre : Mise en place d'une couverture en réassurance rétrospective sur les dommages corporels de la branche automobile

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

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

Membre présents du jury de l'Institut des Actuaire

Entreprise :

Generali France

Nom :

Signature :

Membres présents du jury de l'ISFA

Directeur de mémoire en entreprise :

Nom :

Signature :

Invité :

Nom :

Signature :

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

Signature du responsable entreprise

Secrétariat

Signature du candidat

Bibliothèque :

RESUME

Le sujet de ce mémoire est d'évaluer la charge à l'ultime du portefeuille des dommages corporels de la branche Automobile. Le but de cette évaluation est la mise en place d'une nouvelle couverture en réassurance rétrospective qui protège la cédante contre la déviation des réserves de la branche longue des dommages corporels.

Pour évaluer la charge à l'ultime du portefeuille, notre étude sera articulée en deux parties selon la gravité des sinistres. D'une part, on utilisera des méthodes usuelles de liquidations de triangles agrégés pour les sinistres attritionnels et d'une autre, on proposera une méthode alternative de provisionnement pour les sinistres graves. En analysant les caractéristiques des dommages corporels, on utilisera une approche dossier par dossier avec les montants des sinistres comme facteur principal du développement des sinistres (laissant de côté les années de développement comme facteur explicatif). Ainsi, on pourra simuler la charge à l'ultime de chaque sinistre et on pourra appliquer la réassurance non proportionnelle historique à un niveau individuel.

En consolidant nos deux parties, on pourra analyser la distribution nette de réassurance du portefeuille. Cette distribution nous permettra de quantifier le coût pour l'assureur de l'éventuelle mise en place d'une réassurance rétrospective.

Mots clés : Réassurance rétrospective, réassurance non proportionnelle, dommages corporels, charge ultime dossier/dossier, provisionnement non-vie, Chain-Ladder, modèle de Mack, méthode de Bootstrap, sinistres tardifs.

ABSTRACT

The object of this dissertation is the evaluation of the ending cost of the non-life bodily injuries portfolio. This evaluation aims to implement a new reinsurance protection. This new reinsurance would be a retrospective solution and it would protect the insurance company against the reserve risk from the non-life line of business. Specifically, the company would protect itself against the reserve deviations.

In order to measure the final costs generated by the portfolio, we will proceed in two steps : on one hand, we will analyze the small accidents by using the usual reserving methods for aggregate data and on the other hand, we will propose an alternative method : after studying the characteristics of the bodily accidents, we will take an individual approach for the serious accidents. We will use the amount of the accident as an explicative variable that will describe the evolution of the accident cost (we will not take the year of development as an explicative factor). By developing this new approach, we will evaluate the cost of each accident and we will be able to apply our treaties of non-proportional reinsurance.

By adding these two separate studies, we will analyze the net distribution of the portfolio. This final cost distribution will show us the cost for the insurance company of an eventual new retrospective reinsurance.

Key words : Retrospective reinsurance, non-proportional reinsurance, bodily injuries, ultimate amount, non-life reserving, Chain-Ladder, Mack's model, Bootstrap method, late claims.

REMERCIEMENTS

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens à remercier tout particulièrement Stephan FANGUE, manager du pôle Réassurance - ERM (*Enterprise Risk Management*), pour m'avoir donné l'opportunité de travailler dans son équipe et pour m'avoir encadré tout au long de l'année. Je le remercie également pour les conseils et surtout pour le temps qu'il a consacré pour m'aider.

Je remercie Corinne PORLON-CASIMIRIUS, pour la lecture et pour l'accompagnement qu'elle a assuré tout au long de mon parcours dans l'équipe.

Je remercie Julie ETIENNE-BEN AYOUN, Nathan CHAPEAUBLANC, Michael TOLEDANO, Yoboua ANGOUA, Nicole TUAL et Alexandre HOHA qui ont participé d'une forme ou d'une autre à la création de ce mémoire.

Je remercie Julie ARROS pour sa disponibilité et ses conseils lors de la rédaction du mémoire.

Je remercie l'ISFA pour m'avoir donné une formation de qualité et plus particulièrement Yahia SALHI pour m'avoir aidé lors de la création du mémoire.

Enfin j'adresse mes remerciements à toute ma famille et à mes proches qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci infiniment.

Sommaire

INTRODUCTION	6
1 Cadre général : Solvabilité 2, Réassurance non proportionnelle et Réassurance rétrospective	8
1.1 Solvabilité 2	8
1.2 Contraintes réglementaires : Fonds propres liés au risque de réserve	11
1.3 Risque de réserve	14
1.4 Réassurance	16
1.4.1 Réassurance proportionnelle	17
1.4.2 Réassurance non proportionnelle	18
1.4.3 Clauses de réassurance	20
1.4.4 Autres solutions de transfert de risque	21
1.4.5 Réassurance rétrospective	21
2 Dommages Corporels	23
2.1 Définition et chiffres	23
2.2 Indemnisation et provisionnement des dommages corporels	26
2.3 Nomenclature Dintilhac et postes de préjudices	28
2.4 Date de consolidation	30
2.5 Principaux postes de préjudices	30
2.6 Cartographie sur le portefeuille	35
3 Sinistres attritionnels	37
3.1 Déroulement d'un sinistre	37
3.2 Structure comptable d'un sinistre	38
3.3 Liquidation des sinistres attritionnels	41
3.3.1 Méthode déterministe : Chain-Ladder (CL)	42
3.3.2 Méthodes stochastiques : Modèle de Mack	45
3.3.3 Méthodes stochastiques : Méthode de Bootstrap	47
4 Modélisation des sinistres graves	51
4.1 Limite des méthodes usuelles de liquidation	52
4.2 Nouvelle approche	54
4.3 Classes des coefficients et choix des coefficients	58
4.3.1 1er jeu : Tous les coefficients	59
4.3.2 2ème jeu : Mis en écart des sinistres clos	60
4.3.3 3ème jeu : Mis en écart des coefficients individuels issus des deux premières année de développement	61
4.4 Segmentation par année de survenance	63
4.5 Méthode du choix du coefficient de développement individuel	64

4.5.1	Comparaison des deux méthodes	64
4.6	Critère d'arrêt des itérations	66
4.6.1	Sensibilité aux années nécessaires pour arriver à l'ultime	66
4.7	Sinistres tardifs	68
4.8	Impact des différents choix et justifications	69
4.8.1	Impact des deux jeux de coefficients	69
4.8.2	Sinistres survenus entre 2007 et 2010 : vision à 2014 vs vision simulée à 2014	70
4.8.3	Sinistres tardifs	70
4.8.4	Mesures d'ajustement dans la pratique	71
4.9	Implémentation et résultats	72
4.10	Limites de l'approche	72
5	De la sinistralité brute à la sinistralité nette de réassurance	73
5.1	Estimation de la distribution nette de réassurance	73
5.1.1	Clause de rachat des rentes	73
5.1.2	Clause de stabilisation	75
5.1.3	Couverture en réassurance historique	75
5.1.4	Sensibilité aux hypothèses	76
5.2	Agrégation et distribution nette de réassurance	81
5.3	Mise en place de la couverture de réassurance rétrospective	82
	CONCLUSION	85
	Bibliographie	86
	Annexes	87

INTRODUCTION

Grâce à la volonté de l'Union Européenne d'uniformiser les normes et les règlements au sein des pays membres, les domaines de l'assurance et des finances ont subi des réformes réglementaires depuis des décennies. Avec Bâle 1 et Solvabilité 1 comme précurseurs, les compagnies d'assurances et les institutions bancaires implantées en Europe ont été obligées de respecter les normes dictées par les organismes régulateurs européens. L'une des normes de Solvabilité 1 pour les assurances était de calculer les provisions d'une façon qui aujourd'hui paraît rudimentaire : les compagnies d'assurances devaient mettre en provision une part fixe de la prime encaissée ou des sinistres déjà payés et ce, sans distinction du type de risque. Ainsi, les compagnies d'assurance provisionnaient pour un même montant de prime encaissée, une même somme et ce, que ce soit une prime issue d'un contrat Habitation ou Automobile. De ce fait, un pourcentage déterminé du total des primes encaissées était alloué aux provisions. Cela représentait une limite dans la vision des risques. L'arrivée de Solvabilité 2 a entraîné des changements dans la méthode du calcul des provisions. Désormais avec une vision plus prudentielle de la gestion des risques, on analyse le type de risque associé à chaque type de contrat et on prend en compte leur volatilité pour évaluer les provisions. De même, les compagnies d'assurance mettent l'accent sur la marge de solvabilité afin d'assurer la solidité de la compagnie afin de faire face aux imprévus. Elles se focalisent sur le capital alloué et les fonds propres qui devront financer les différents risques du marché. Il est donc très important pour l'assureur de maîtriser les provisions et le capital immobilisé.

Les compagnies d'assurances ont la particularité, contrairement aux autres entreprises, de ne pas connaître le montant à payer sur leurs engagements (inversion de leur cycle de production) : elles sont donc soumises à un risque de sous-estimation de leur provision. Ce risque, appelé risque de réserve, s'accroît dans les branches à développement long. Dans ces branches, il existe une forte incertitude sur les coûts finaux que l'assureur sera amené à payer compte tenu de la durée de vie des sinistres : certaines provisions sont sous-estimées compte tenu de l'aléa qui existe et les compagnies d'assurances doivent immobiliser du capital additionnel pour faire face à la dérive des provisions. D'autre part, les assureurs cherchent à limiter le capital immobilisé nécessaire pour financer les risques. Ainsi, le capital économisé pourrait être utilisé différemment.

L'une des solutions existantes pour limiter le capital alloué est la réassurance : il s'agit d'un mécanisme d'assurances par lequel, en échange du paiement d'une prime au réassureur, l'assureur se protège contre le phénomène de dérive des provisions. De cette façon, on limite le capital nécessaire pour faire face aux risques soumis et par conséquent, on peut libérer une partie de capital alloué.

Ce mémoire est centré sur les dommages corporels. Pour en donner une définition succincte, il s'agit de sinistres peu fréquents mais qui coûtent très cher à l'assureur. La source de risque de ce type de sinistres provient de l'analyse au cas par cas des sinistres corporels : chaque dossier présente des caractéristiques propres et il est difficile de déterminer la charge ultime de chaque dossier. Il s'avère que la situation de l'assuré s'aggrave souvent, ce qui entraîne une augmentation de la provision précédemment déterminée. Il s'agit pour l'assureur d'un risque de sous-provisionnement dû aux majorations des dossiers.

Notre étude se centrera sur la branche Automobile, dans les catégories ministérielles C22 et C23. Dans ce type de sinistres, on a une sous-catégorie : dommages matériels et dommages corporels.

Dans notre cas, nous étudierons les dommages corporels compte tenu de leurs caractéristiques : les dommages corporels sont volatiles et leurs provisions sont souvent sous-estimées. Il s'agit d'une grande source d'incertitude pour l'assureur.

Suite à l'étude des problématiques liées aux sinistres corporels, nous effectuerons une modélisation prospective de notre portefeuille. En effet, l'objectif est de mesurer la distribution de la charge ultime d'un portefeuille défini. Pour cela, on effectuera une séparation de sinistres en fonction de leur charge. D'un côté, les sinistres attritionnels seront liquidés avec des méthodes dites usuelles du type *Chain-Ladder* et *Bootstrap*. D'un autre côté, on utilisera une nouvelle approche pour évaluer les charges à l'ultime des sinistres graves. On proposera un modèle qui prendra en compte les montants des évaluations comme facteur explicatif des évolutions des sinistres. On utilisera un modèle individuel, c'est-à-dire que chaque sinistre sera simulé de façon indépendante, laissant de côté la projection agrégée des méthodes de liquidation usuelles. De cette façon, on pourra appliquer notre structure de réassurance historique à nos simulations pour obtenir une distribution de la charge ultime nette de réassurance historique. Avec cette distribution, on pourra avoir une vision globale de la charge ultime du portefeuille.

Dans la pratique, la compagnie possède plusieurs traités visant à se protéger contre l'aléa de ces sinistres. Or, les derniers exercices comptables ont montré que ces traités n'étaient pas suffisants et que les coûts des sinistres graves corporels augmentaient considérablement. L'objectif ultime de cette étude est de proposer une nouvelle réassurance complémentaire aux traités historiques que la compagnie possède déjà. Cette nouvelle réassurance est de type rétrospective ; elle permettrait de limiter la charge à l'ultime des sinistres corporels déjà existants dans nos comptes. Il s'agirait d'une réassurance non pas sur les événements à venir, mais une réassurance focalisée sur les provisions existantes et leur déviation dans les années à venir.

Chapitre 1

Cadre général : Solvabilité 2, Réassurance non proportionnelle et Réassurance rétrospective

1.1 Solvabilité 2

Le monde des assurances connaît une phase de transformation et d'uniformisation. Depuis 2009, avec l'adoption de la directive-cadre, et révisée par la Directive Omnibus 2, les organismes assureurs sont obligés de respecter un cadre européen dans les méthodes de calcul de solvabilité. Solvabilité 2 est née dans le but d'améliorer les normes correspondantes à Solvabilité 1 des années 1970. Dans cette ancienne version, on ne prenait pas en compte les différentes natures des risques auxquels les organismes assureurs étaient exposés. Ainsi, sous le référentiel Solvabilité 2, on établit que les capitaux propres devront être proportionnels au risque des actifs et des passifs détenus par les organismes : plus un produit sera risqué, plus les capitaux propres réglementaires ou l'exigence en capital correspondant seront élevés pour faire face aux engagements de l'assureur.

La directive proposée est composée de trois piliers : le pilier 1 est la partie la plus technique et la plus quantitative, on impose des méthodes de calcul de capital réglementaire en prenant en compte les risques des organismes assureurs. Le principal calcul est le Capital de Solvabilité Requis (SCR). La directive définit ce montant comme la richesse nécessaire pour faire face aux engagements des assureurs dans 99,5 % des états du monde à l'horizon d'une année. De nouvelles règles des méthodes d'évaluation des actifs et des passifs sont introduites dans ce pilier, évaluation faite à partir d'un point de vue économique. La directive préconise d'utiliser une formule standard, mais pour certaines compagnies d'assurances, après de justifications auprès de l'organisme régulateur, l'ACPR (Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution) en France, elles peuvent opter pour un modèle interne propre qui soit éventuellement plus avantageux que la formule standard.

Le pilier 2 complète l'approche quantitative en obligeant les assureurs à faire un suivi méthodique des différents risques auxquels l'organisme est soumis. De même, on demande aux compagnies d'effectuer une politique de pilotage des risques.

Le pilier 3 englobe les travaux développés dans les deux autres piliers et préconise la communication des entreprises vers les autorités de contrôle et de marché. Il essaie d'instaurer une transparence minimale entre les organismes et l'Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution (ACPR).

Dans la partie qualitative du pilier 2, un certain nombre d'exigences relatives à l'évaluation interne des risques et de la solvabilité sont définies dans l'article 45 correspondant à l'évaluation interne des risques et de la solvabilité. On cite ici une partie de l'article :

- 1) *Dans le cadre de son système de gestion des risques, chaque entreprise d'assurance et de réassurance procède à une évaluation interne des risques et de la solvabilité. Cette évaluation porte*

au moins sur les éléments suivants :

- le besoin global de solvabilité, compte tenu du profil de risque spécifique, des limites approuvées de tolérance au risque et de la stratégie commerciale de l'entreprise
 - le respect permanent des exigences de capital et des exigences concernant les provisions techniques
 - la mesure dans laquelle le profil de risque de l'entreprise s'écarte des hypothèses qui sous-tendent le capital de solvabilité
- 2) Aux fins du paragraphe 1, premier point, l'entreprise concernée met en place des procédures qui sont proportionnées à la nature, à l'ampleur et à la complexité des risques inhérents à son activité et qui lui permettent d'identifier et d'évaluer de manière adéquate les risques auxquels elle est exposée à court et long terme, ainsi que ceux auxquels elle est exposée, ou pourrait être exposée. L'entreprise démontre la pertinence des méthodes qu'elle utilise pour cette évaluation. (...)
- 3) L'évaluation interne des risques et de la solvabilité fait partie intégrante de la stratégie commerciale et il en est tenu systématiquement compte dans les décisions stratégiques de l'entreprise.
- 4) Les entreprises d'assurance et de réassurance procèdent à l'évaluation visée au paragraphe 1 sur une base régulière et immédiatement à la suite de toute évolution notable de leur profil de risque.

La Directive préconise d'intégrer l'évaluation des risques qui est faite en interne à la stratégie commerciale et aux décisions stratégiques. Sous le nouveau référentiel, tout changement de gestion de l'organisme peut avoir un impact sur l'exposition aux risques de l'assureur et par conséquent, sur le niveau de capital nécessaire (SCR).

Comme conséquence, les organismes d'assurance ont eu la nécessité de créer de nouvelles équipes dédiées à l'analyse des risques. La notion de « *Risk Profile* » au sein de l'organisme est née. Le *risk profile* correspond à l'exposition aux risques constatée et mesurée par l'entreprise. L'entreprise a, depuis, la nécessité de mesurer le *risk profile* et aussi la nécessité d'étudier l'impact de telle ou telle décision de gestion. La société doit également analyser les objectifs recherchés et voir s'ils sont compatibles avec le profil de risque intrinsèque de l'entreprise.

Risk appetite et ORSA

On définit le *Risk Appetite* comme le niveau de risque agrégé qu'une entreprise accepte de prendre en vue de la poursuite de son activité et son développement. Il doit correspondre aux objectifs de pilotage de l'entreprise : en connaissant les différents risques auxquels la compagnie est exposée, les décisions prises doivent prendre en compte la marge de manœuvre en termes de risque et on doit analyser si le gain ou la perte des expositions aux risques correspond au *risk appetite* de l'entreprise. De même, le *risk appetite* déclaré aux régulateurs et aux tiers permet une communication claire et objective de la manière dont l'entreprise gère ses risques. Le *risk appetite* peut être alors vu comme une limite globale de l'exposition au risque de l'entreprise.

Avant Solvabilité 2, les organismes prenaient des décisions *a priori* et une fois les conséquences de ces actes constatées, on mesurait l'impact dans les provisions ou dans le capital. Sous Solvabilité 2, les organismes d'assurances sont censés maîtriser les risques auxquels ils sont exposés pour ensuite définir une stratégie d'entreprise et prendre des décisions. Il s'agit bien de l'ORSA : *Own Risk and Solvency Assessment*. L'ORSA est un processus interne d'évaluation des risques et de la solvabilité par l'organisme. Il doit illustrer la capacité de l'organisme ou du groupe à identifier, mesurer et gérer les éléments de nature à modifier sa solvabilité ou sa situation financière. Aussi, sa déclinaison opérationnelle en fait-elle un outil stratégique de premier plan.[17]

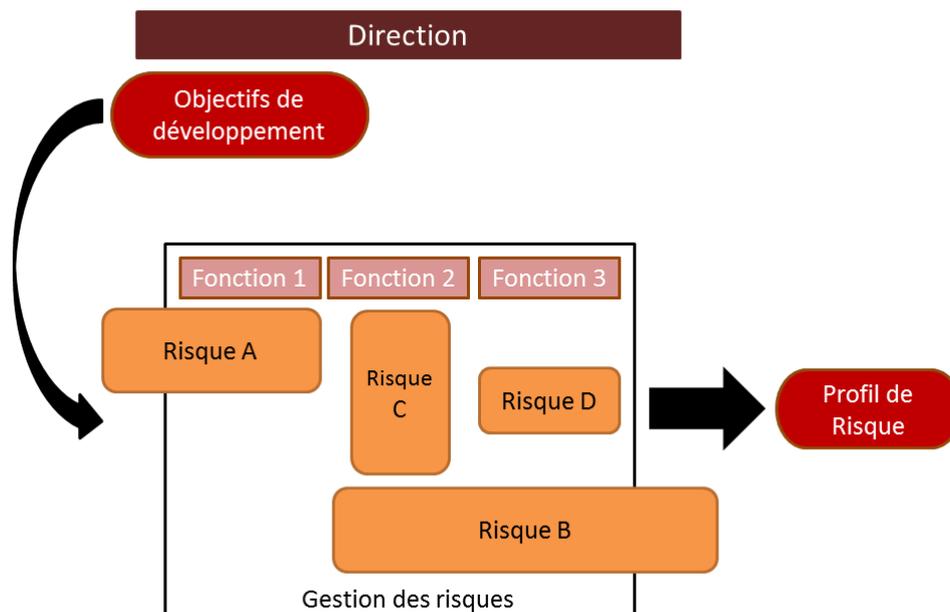


FIGURE 1.1 – Gestion des risques sans *Risk Appetite*

Sous le nouveau référentiel, la gestion des risques et la prise de décisions doivent être conjuguées. Dans un sens, les entreprises doivent connaître les risques pour ensuite prendre des décisions de gestion, et d'un autre côté, elles doivent analyser l'impact de toute prise de décision.

Les facteurs de risque qui interviendront dans le *risk appetite* doivent être définis par l'organisme. Le pilier 1 de Solvabilité 2 décrit un ensemble de facteurs de risques dans le cadre du calcul de la SCR (*Solvency Capital Requirement*). Cependant, c'est l'entreprise elle-même qui doit décider si ces facteurs sont significatifs vis-à-vis de sa situation et elle doit proposer d'autres risques si elle les considère importants. On voit alors que le *risk appetite* sert au pilotage de l'entreprise. La mesure de *risk appetite* est utilisée dans le cadre du *Use Test*. En effet, l'entreprise doit montrer et doit justifier l'utilisation de son modèle interne dans les calculs (autres que le calcul de capital réglementaire). L'estimation de *risk profile* permet de comparer également les anticipations de performance au regard de la prise de risque de l'entreprise.

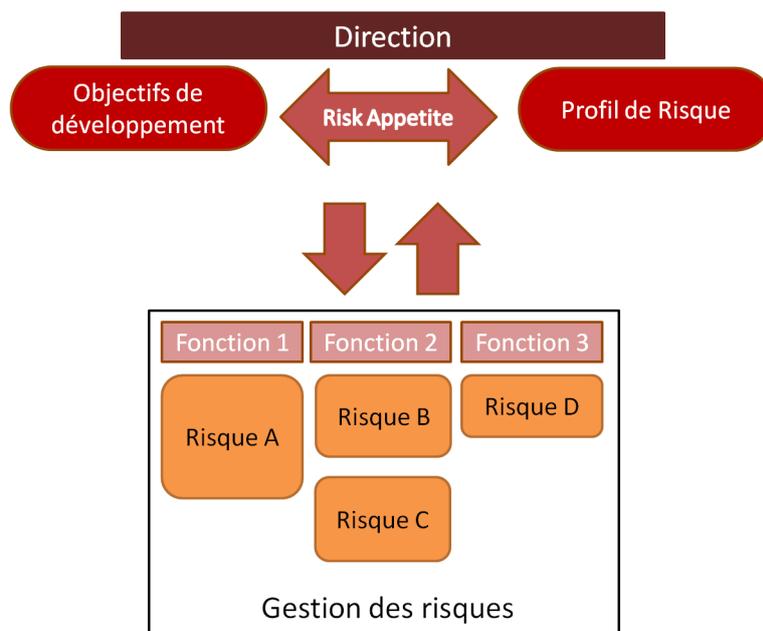


FIGURE 1.2 – Gestion des risques au travers du *Risk Appetite*

L'application de l'évaluation du risque et la communication entraîne des avantages significatifs. En effet, ce travail permet d'avoir une vision globale du *business* effectué par l'organisme et permet des comparaisons par branche en fonction du rapport performance/risque exposé. Les conclusions qualitatives de ce pilier permettent également de transmettre des visions de performance attendue avec le niveau de confiance correspondant aux actionnaires et aux investisseurs. De même, d'un point de vue de communication externe, le *risk management* permet de chiffrer l'exposition au risque de l'entreprise et les moyens qu'elle met en œuvre pour contrôler son exposition globale. Les analystes financiers et les agences de notation peuvent éventuellement utiliser ces valeurs quantitatives pour émettre leurs opinions.

Le *risk management* s'avère, plus qu'une obligation vis-à-vis des régulateurs et des autorités de contrôle, une opportunité pour mettre en place des processus intégrés de pilotage de l'entreprise basés sur le *risk appetite*. Il s'agit aussi d'une opportunité de préciser le modèle de développement de l'entreprise et d'associer clairement les propriétaires de risques à la performance de l'entité et au contrôle de ses risques. Le processus ORSA (*Own Risk Solvency Adjustment*) permet aux entreprises et aux régulateurs d'évaluer la qualité des calculs réalisés, en particulier le calcul de besoin en marge de solvabilité par la formule standard ou l'utilisation d'un modèle interne.

Enfin, le pilier 2 a pour objectif d'apporter une autre dimension plus qualitative à laquelle les autorités de contrôle sont particulièrement attentives. La gestion des risques ne peut pas se limiter à un seul calcul mathématique de VaR 99,5 % (*Value-at-Risk*) et doit être bien maîtrisée pour valider les hypothèses actuelles ainsi que les scénarios futurs de solvabilité.[4]

1.2 Contraintes réglementaires : Fonds propres liés au risque de réserve

L'activité d'assurance est, par nature, risquée car elle est liée à la survenance d'un sinistre potentiel. De plus, l'inversion du cycle de production en assurance ajoute aux risques financiers classiques un risque dit d'assurance qui rend le métier d'assurance aléatoire. Les provisions ne suffisent donc pas toujours à couvrir les engagements d'une compagnie d'assurances. Par conséquent, les réglementa-

tions prudentielles encadrent l'activité d'assurance en exigeant un niveau minimum de fonds propres pour faire face aux aléas de l'activité. Solvabilité 1 préconisait un niveau minimum de fonds propres calculé de manière forfaitaire, c'est-à-dire, comme une fraction des éléments considérés comme risqués du bilan (provisions techniques) ou du compte de résultats (primes).

L'évaluation du respect continu des exigences de fonds propres réglementaires doit au moins inclure une estimation des éventuels futurs changements du profil de risque de l'entreprise, de la qualité et la quantité des fonds propres sur la durée du *business plan*, de la composition des fonds propres par Tier et des éventuels changements de cette composition dus aux remboursements et arrivés à échéance sur la durée du *business plan*. Le respect continu n'entraîne pas un recalcul du SCR (*Solvency Capital Requirement*) complet à chaque instant : une estimation simplifiée peut suffire en fonction de la volatilité des fonds propres de l'entreprise et de sa solvabilité.

Solvabilité 2 impose dans l'article 44 de la Directive la création d'un dispositif de gestion des risques complet et opérationnel. Il permet de gérer la chaîne de détection d'un risque de bout en bout et il est intégré à la structure et à la prise de décision. Ce dispositif couvre *a minima* les éléments suivants : la souscription et le provisionnement, la gestion actif-passif, les investissements (en particulier dans les instruments dérivés et engagements similaires), la gestion du risque de liquidité et de concentration, la gestion du risque opérationnel, la réassurance et les autres techniques d'atténuation du risque.

Les fonds propres représentent les ressources à disposition d'un organisme. Sous Solvabilité 2, on retrouve deux types de fonds propres : les fonds propres de base et les fonds propres auxiliaires.

Les fonds propres possédés par un organisme doivent être au moins égaux au MCR (*Minimum Capital Requirement*). Le MCR représente le niveau minimum de fonds propres en dessous duquel l'intervention de l'autorité de contrôle est automatique. Dans l'idéal, le niveau de fonds propres d'un organisme doit être au moins égal au SCR afin que la compagnie soit prête à faire face à des chocs adverses.

	FP de base	FP de base	FP auxiliaires	FP de base	FP auxiliaires
		Tier 1		Tier 2	
		Tier 1		Tier 2	
		Tier 1		Tier 2	
Instruments de capitaux	Actions ordinaires versées (ou équivalent pour les groupes mutualistes) Autre capital versé qui absorbe les pertes en 1er (actions préférentielles, convertibles en cas de besoin)	Actions ordinaires appelées et non-versées ou appelables sur demande Autre capital appelé ne présentant pas les caractéristiques requises par le Tier 1		Autres instruments de capitaux ne satisfaisant pas les critères des Tiers 1 et 2	
Autres éléments admis	Réserves (sous réserve de disponibilité pour absorber les pertes), déduction faite des actions auto-détenues par l'entreprise Comptes mutualistes subordonnés	NA		Impôts différés actifs Profits futurs attendus	
Critères d'appréciation	Subordination Capacité d'absorption des pertes immédiate Duration >= 10 ans Pas de possibilité de remboursement anticipé Pas de coupons/dividendes obligatoires Éléments non-grevés	Subordination Capacité d'absorption des pertes non-immédiate Duration >= 5 ans Pas de possibilité de remboursement anticipé Pas de coupons/dividendes obligatoires Éléments non-grevés		Éléments non-grevés Pas de possibilité de remboursement anticipé Duration >= 3 ans Pas de coupons/dividendes obligatoires	

FIGURE 1.3 – Classification des fonds propres

Les fonds propres sont, en vertu du texte de la directive, classés en 3 catégories (« tiers »). Ce classement se fait en fonction de leur qualité évaluée au regard de leur disponibilité, de leur degré de subordination et de leur durée ou permanence. Par ailleurs, des limites quantitatives sont imposées pour déterminer le montant des fonds propres éligibles en couverture respectivement du SCR et du MCR. Pour l'exercice QIS5, le SCR devait ainsi être couvert au moins à moitié par des éléments de Tier 1 et à 15 % maximum par du Tier 3. Enfin les éléments subordonnés n'étaient pris en compte qu'à 20 % du Tier 1.

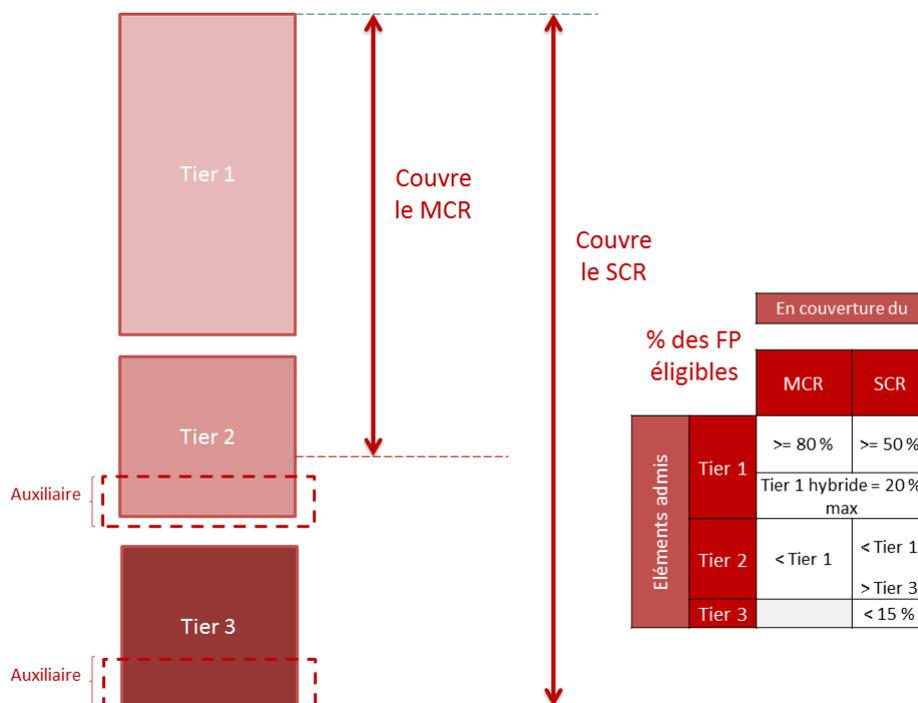


FIGURE 1.4 – Répartition et limites des fonds propres

Les fonds propres de base sont égaux à la différence entre actifs et passifs (diminués du montant des propres actions que l'entreprise d'assurance ou de réassurance détient), augmentée des dettes subordonnées. Les fonds propres auxiliaires sont des éléments de fonds propres qui peuvent être appelés pour absorber des pertes. Lorsqu'ils sont payés ou appelés, ils sont assimilés à un actif et cessent de faire partie des fonds propres auxiliaires. Les fonds propres auxiliaires font l'objet d'un processus d'autorisation par le superviseur. Ils sont notamment constitués de la fraction non versée du capital social, du fonds initial qui n'a pas été appelé, des lettres de crédit et des garanties ou de tout autre engagement juridiquement contraignant reçu par les entreprises d'assurance et de réassurance, comme par exemple le rappel de cotisations dans le cas d'une mutuelle ou d'une association de type mutuel à cotisations variables.

On constate que certaines entreprises n'effectuent pas correctement certaines déductions des fonds propres, comme les participations dans les institutions financières et les établissements de crédit, avec parfois un impact significatif sur le montant global de fonds propres éligibles. Enfin, il semble que certains organismes se montrent trop optimistes quant à la classification de leurs fonds propres en tiers. La classification retenue concernant les dettes subordonnées varie de manière importante d'un organisme à l'autre malgré une large standardisation des instruments utilisés par le marché. La grande majorité (93,6 %) des éléments de fonds propres a été classée en Tier 1. 99,64 % des fonds propres sont des fonds propres de base. Les fonds propres auxiliaires sont composés à 95 % de rappels de

cotisation.

Les spécifications techniques prévoient des ajustements à opérer sur les fonds propres totaux figurant au bilan. Ces ajustements concernaient notamment : les participations dans les établissements de crédit, qui doivent être déduites des fonds propres, les fonds propres relatifs aux fonds cantonnés, qui ne sont inclus qu'à hauteur du SCR notionnel du canton, et les impôts différés actifs nets qui doivent être relégués du Tier 1 au Tier 3. Sur l'ensemble du marché, les fonds propres après ajustement représentent environ 98 % des fonds propres du bilan.

Une fois définies les catégories de fonds propres, on obtient la répartition suivante dans le bilan :

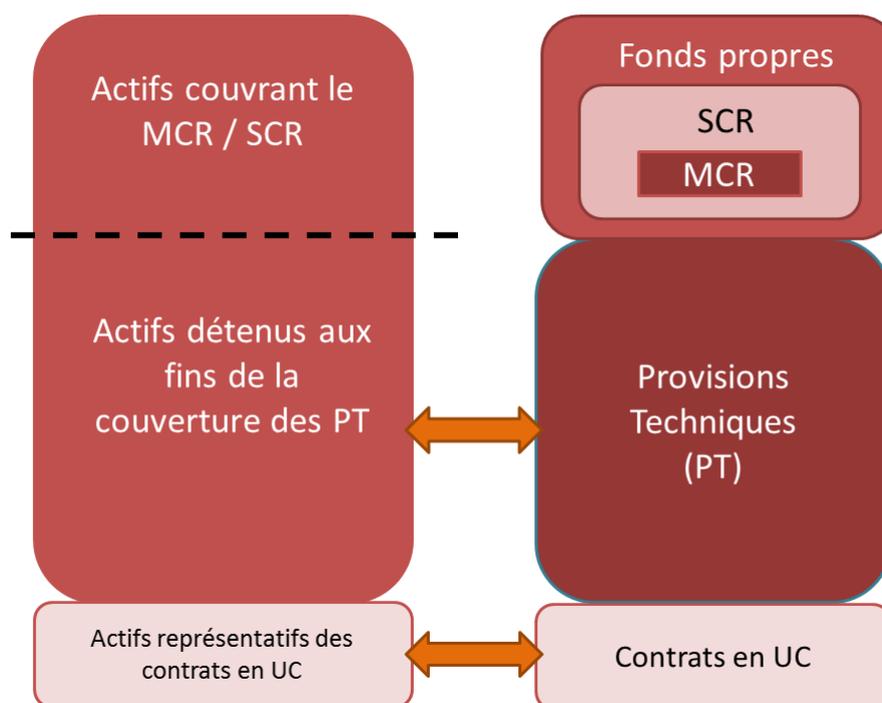


FIGURE 1.5 – Fonds propres dans le bilan

Les fonds propres, constitués de capitaux initiaux et des réserves accumulées (résultats positifs des années précédentes non distribués aux actionnaires et le résultat courant), traduisent la situation nette de l'entreprise : des fonds propres élevés signifient que les biens et les créances de la compagnie sont plus importants que ses engagements et ses dettes. Dans le cas contraire, la compagnie est dans une situation d'insolvabilité : elle doit faire appel à l'augmentation du capital à travers les actionnaires ou à des fonds de garantie pour atteindre un niveau au moins équivalent à ses engagements.

En assurance, les capitaux propres ne servent donc pas à financer l'activité (les investissements nécessaires à la production des prestations), mais protègent les assurés propriétaires du passif : la situation nette doit être suffisante pour pouvoir faire face à des scénarios adverses. C'est l'une des raisons pour lesquelles les Etats, à travers les autorités de contrôle, exigent que les compagnies détiennent un montant de fonds propres minimal pour exercer l'activité d'assurance.

1.3 Risque de réserve

Dans les branches non-vie, d'après la formule standard de Solvabilité 2, il y a une caisse spécifique au risque de réserves. Il s'agit de la caisse Premium-Réserve.[10]

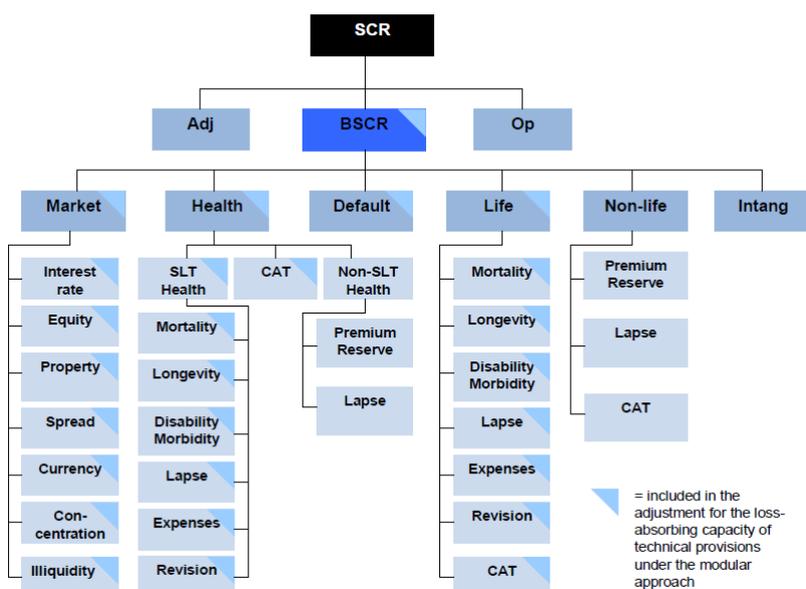


FIGURE 1.6 – Classification des risques

Ce sous-module prend uniquement en compte les pertes dues à des fréquences régulières. Les événements extrêmes sont pris en compte à part lorsqu'on calibre les facteurs du risque de prime et le risque de réserve. Le risque de réserve appartient au risque de souscription de la branche non-vie, il est lié à la nature aléatoire de l'évaluation des sinistres et à leur mauvaise estimation.

Pour mesurer ce risque, les entreprises ont le choix entre la formule standard et le modèle interne. La formule standard est simple à implémenter mais on garde la même méthode pour toutes les compagnies. On ne différencie pas l'exposition aux risques des différentes compagnies, ce qui ne permet pas de prendre en compte les paramètres propres à une compagnie. De l'autre côté, le modèle interne est cher à être mis en place et demande beaucoup de travail de mise en œuvre. De même, il doit être suivi de plusieurs échanges avec l'ACPR. Mais l'avantage de ce choix, c'est que l'on possède une plus grande précision des risques auxquels l'entreprise est soumise et on peut avoir plus d'informations sur l'état de l'entreprise. Il existe par ailleurs une troisième alternative dans le cadre du risque de prime et de réserve du module de souscription non-vie. Il s'agit de l'application des *undertaking specific parameters* (USP) : on peut utiliser la volatilité calculée par la compagnie au lieu de celle qui est imposée par la formule standard. De cette façon, on peut utiliser l'historique propre, tant qu'il est complet, exact et approprié, pour calculer le risque de réserve et prendre le bon risque correspondant à l'entreprise. On abandonne alors la moyenne du marché préconisée par la formule standard. En effet, les volatilités proposées par l'EIOPA (*European Insurance and Occupational Pensions Authority*) sont calculées sur un panel de sociétés et ne peuvent pas refléter les risques individuels pour chaque compagnie.

A part les méthodes pour calculer le risque de réserve, il est important de savoir les raisons qui causent la variabilité des provisions. En effet, on constate que le risque de réserve n'est pas le même en fonction des branches dites courtes ou des branches dites longues. Pour des branches comme la Responsabilité Civile - Auto ou Construction, on constate que la date de clôture des sinistres est très éloignée de la date de survenance du sinistre. Cet intervalle de temps est principalement la source de la volatilité car certains facteurs économiques (qui sont susceptibles d'évoluer tout au long de la vie du sinistre) interviennent. Par conséquent, les montants approvisionnés sont souvent dépassés par le coût réel du sinistre.

Pour faire face à ce risque et comme mécanisme de transfert de risque, les assureurs font appel à

la réassurance. En effet, ils peuvent se protéger contre ce risque et ils peuvent borner le capital alloué pour faire face aux provisions techniques. Avec application de la réassurance, on n'a plus besoin d'avoir autant d'actifs pour faire face aux provisions techniques. Dans le cas d'une application de réassurance, on pourrait utiliser ce capital autrement : il s'agirait d'un gain en capital alloué.

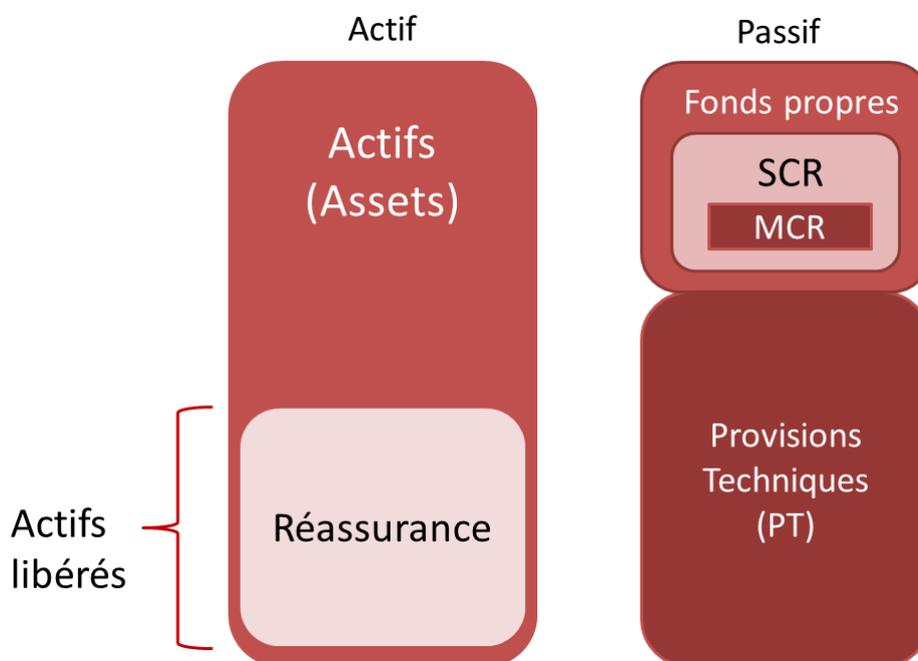


FIGURE 1.7 – Application de la réassurance

1.4 Réassurance

La réassurance est l'assurance pour les organismes assureurs. Cette deuxième étape est subordonnée à l'existence de l'assurance primaire. Il s'agit d'un mécanisme dans lequel la société d'assurance (la cédante) transfère à une société spécialisée (le réassureur) un risque aléatoire contre le règlement d'une prime de réassurance, correspondant au risque transféré et au mode de transfert prévu dans le contrat de réassurance (le traité). Chez la cédante, on retrouve les bénéfices suivants :

- La réassurance protège la cédante contre des vagues de sinistralités inattendues comme les catastrophes naturelles ou des attentats terroristes. Cela permet d'assurer la solvabilité des assureurs et empêche la faillite des assureurs qui n'aurait pas les fonds propres nécessaires.
- La réassurance permet d'augmenter la capacité et la sûreté financière de l'assureur. La cédante peut ainsi augmenter ses souscriptions.
- La réassurance permet de lisser les bilans et les résultats financiers des cédantes d'une année sur l'autre. La cédante a ainsi une plus grande stabilité financière sur moyen et long terme.
- Vis-à-vis des régulateurs et des agences de notation, la cédante gagne de la notoriété et de la solidité financière avec le mécanisme de réassurance grâce à la mutualisation des risques avec les réassureurs.

D'une manière simpliste, on pourrait définir la réassurance comme « l'assurance de l'assurance ». On peut retenir la définition plus précise donnée par Picard et Besson : « une opération de réassurance est un contrat sur lequel un réassureur (dit cessionnaire) prend en charge, moyennant rémunération, tout ou partie des sommes dues ou versées aux assurés au titre des sinistres » .

Comme pour le contrat d'assurance, l'assureur est libre d'avoir tous ses contrats chez le même réassureur ou d'avoir différents contrats chez différents réassureurs. Il est assez rare qu'une cédante ait recours à un seul réassureur sur un de ces contrats de réassurance, elle préfère en général élargir son panel de réassureurs afin de limiter son risque crédit ; de même, les réassureurs ont en général ce que l'on appelle une « capacité de souscription » qui correspond à l'engagement maximal qu'ils sont autorisés à avoir sur un contrat donné. La réassurance se matérialise par un contrat de réassurance appelé « Traité », qui définit une catégorie de risques ainsi que des conditions ou des limites de souscription. Par ce traité, la cédante s'engage à céder tout risque correspondant aux conditions définies précédemment sans effectuer aucune sélection ; de son côté, le réassureur s'engage à adapter tous ces risques sans effectuer aucune sélection.

Il existe deux types de réassurance : la réassurance proportionnelle et la non-proportionnelle.

1.4.1 Réassurance proportionnelle

La réassurance proportionnelle est nommée ainsi car la prime de réassurance et l'indemnisation des sinistres de la cédante par le réassureur se calculeront selon le même pourcentage. Ainsi par exemple, le réassureur reçoit 20 % de la prime d'un risque et s'engage en contrepartie à couvrir 20 % des sinistres affectant ce même risque. Les résultats du cessionnaire dépendent donc directement de la qualité de souscription de la cédante, le réassureur partagera les bénéfices de la cédante mais aussi ses pertes éventuelles. Les deux formes classiques de traités de réassurance proportionnelle sont le Quote Part et l'Excédent de Plein.

Quote Part (QP)

Dans un traité en Quote Part, un taux de cession x % est défini. Dès lors, la cédante s'engage à céder x % des sinistres qu'elle devra régler au titre de ce même portefeuille. Le taux de cession est identique pour tous les risques en portefeuille, quelle que soit la somme assurée, ainsi le profil de portefeuille demeure le même à une transformation homothétique près.

Par ce type de traité, le réassureur est impliqué dans tous les sinistres, même les plus petits. Il va de soi que la cédante ne fera pas appel à son réassureur à chaque déclaration de sinistre afin que ce dernier lui envoie les fonds requis. Le traité de réassurance prévoit en général un calendrier comptable stipulant les dates auxquels les comptes seront effectués. En diminuant les primes et les sinistres de la cédante, un traité en Quote Part améliore la marge de la solvabilité de cette dernière. Ainsi pour un QP à 50 %, la cédante peut souscrire deux fois plus de prime pour le même niveau de capital tout en maintenant sa marge de solvabilité. Ceci est particulièrement intéressant pour les petites sociétés ne disposant que de peu de capital mais souhaitant se développer, pour les start-up ou encore pour le lancement d'une nouvelle branche. Néanmoins, la forme du profil de portefeuille demeure la même et le traité en Quote Part ne permet pas d'obtenir un lissage dans le temps des résultats. En effet, le ratio S/P demeure le même que l'on ait un traité en Quote Part ou non.

Excédent de Plein

On définit le « Plein de Rétention » comme le montant maximal que la cédante souhaite payer par sinistre. Le fonctionnement est le même que pour le Quote Part, si ce n'est que le taux de cession est différent pour chaque risque. Le calcul de ce taux de cession se fait selon la formule suivante :

$$X_i = \min \left\{ \max \left(\frac{K_i - R}{K_i}, 0 \right), \frac{C}{K_i} \right\}$$

avec :

- K_i capital assuré du risque i
- C capacité de l'Excédent de Plein (exprimé en général comme un multiple du plein de rétention)

- R plein de rétention de la cédante
- X_i taux de cession pour le risque i

Ainsi, si $K_i < R$ alors le taux de cession est nul : la cédante conserve les risques dont le capital assuré est inférieur au plein de rétention. Ces risques représentent en général le plus grand nombre des polices du portefeuille et surtout la plus grande partie de la prime. L'excédent de plein permet donc de conserver la plus grande partie de sa prime tout en bénéficiant d'une protection proportionnelle pour ses risques les plus importants. Pour un risque donné, la cédante paiera au maximum R par sinistre. Contrairement au Quote Part, l'excédent de plein change le profil de portefeuille de la cédante. Pour un excédent de plein, le réassureur accorde une capacité maximum, ce qui dépasserait cet engagement maximum redeviendrait à la charge de la cédante.

L'excédent de plein est souvent déséquilibré pour le réassureur qui doit faire face à un engagement important pour un niveau de prime relativement faible. En revanche, la cédante protégée par un excédent de plein bénéficie d'un portefeuille plus équilibré.

1.4.2 Réassurance non proportionnelle

Il n'y a pas ici de relation de proportionnalité entre la prime cédée et la participation du réassureur dans les sinistres. Ce type de réassurance a pour but de protéger la cédante de la survenance d'événements catastrophiques. Lorsque ces contrats sont transmis par l'intermédiaire d'un courtier, une commission de courtage est prélevée sur la prime. Il existe là encore deux grands types de contrats en réassurance non proportionnelle : l'excédent de sinistres (*excess of loss*) et l'excédent de perte annuelle (*stop loss*).

Excédent de Sinistre (XS)

Ce contrat fonctionne comme un contrat d'assurance avec franchise déductible. Ici, la franchise est appelée « priorité » (*priority*) ; le réassureur s'engage donc à payer pour tous les sinistres dépassant cette franchise et uniquement pour le montant de ce dépassement. De plus, ces traités font également mention d'une « portée » (*limit*) qui correspond à l'engagement maximum du réassureur sur un sinistre. On appelle « plafond » (*ceiling*) la somme de la portée et de la priorité. Ainsi si on appelle X le montant d'un sinistre couvert par un traité XS, le montant à la charge du réassureur sera :

$$\begin{cases} 0 & \text{si } X \leq \text{priorité} \\ X - \text{priorité} & \text{si } \text{priorité} \leq X \leq \text{priorité} + \text{portée} \\ \text{portée} & \text{si } \text{priorité} + \text{portée} \leq X \end{cases}$$

Si l'on note S le sinistre à charge du réassureur, on a :

$$S = \min \{ \max (X - \text{priorité}, 0), \text{portée} \}$$

Il n'y a pas ici de relation entre la proportion de la prime cédée et la part du réassureur dans le règlement des sinistres. La prime d'un XS est en général exprimée en pourcentage de l'encaissement annuel des risques concernés pour la période considérée. Parfois cette prime n'est pas reliée directement à l'encaissement annuel de la cédante et est exprimée en montant, on parle de prime *flat*. En pratique, la cédante communique au réassureur une estimation des primes qu'elle sera amenée à encaisser pour la période de couverture, il s'agit de l'EPI : *Estimated Premium Income*. Le réassureur va étudier l'XS et calculer une prime de réassurance qu'il va exprimer en pourcentage de cette EPI. Ainsi, si la cédante a un encaissement moins important et donc une exposition plus importante (si l'on corrige les effets de variation de taux d'assurance), sa prime de réassurance sera diminuée en proportion ; en revanche, si elle souscrit plus que ce qu'elle avait annoncé à son réassureur, elle devra verser un complément de prime pour l'exposition additionnelle du traité. Une prime minimum est

également prévue, généralement entre 80 % et 90 % de la prime calculée, cette prime est versée au réassureur à la signature du contrat. Une fois la période de couverture terminée, la cédante transmet au réassureur l'encaissement réel effectué durant l'année et la prime de réassurance est régularisée en appliquant le taux de l'XS à cette prime : si cette prime est supérieure à la prime initialement versée, la cédante paie le complément, si elle est inférieure, aucun remboursement n'est effectué par le réassureur.

Un XS est en général découpé en plusieurs tranches indépendantes et cotées séparément. Un même programme peut avoir des réassureurs différents sur chacune de ses tranches. Un traité XS peut fonctionner « par risque », « par évènement » ou « par risque et par évènement » :

- Par risque : le traité s'applique aux sinistres touchant une seule et même police. Cela permet de se protéger contre la survenance de gros sinistres tels que des incendies de bâtiments ou des collisions d'automobiles.
- Par évènement : le traité s'applique au montant cumulé de tous les sinistres résultant du même évènement. En effet, si l'on prend l'exemple des tempêtes françaises de 1999, ce n'est pas tant le montant des sinistres individuels qui posait un problème (quelques centaines ou milliers d'euros pour la plupart des polices touchées). En effet, une protection « par risque » n'aurait sûrement été que très peu touchée alors qu'en agrégeant tous les sinistres résultant de la même tempête, les dégâts se chiffraient en millions d'euros. La définition de l'évènement doit être clairement stipulée dans le contrat afin d'éviter tout litige en cas de sinistre. Si le traité comporte une 2 «risks warranty», il ne fonctionnera que si 2 polices au moins sont affectées par l'évènement, c'est un traité fonctionnant uniquement « par évènement ».
- Par risque et par évènement : il s'agit d'un traité par évènement ne comportant pas de 2 «risks warranty». Il peut donc être touché tout aussi bien par un évènement tel qu'une tempête ou un sinistre conflagration (exemple de l'usine AZF à Toulouse) que par un sinistre touchant une seule et même police.

Excédent de Perte Annuelle (*Stop Loss*)

Le principe du *Stop Loss* est le même que celui de l'XS, mis à part qu'il protège le ratio S/P de l'année. Ici, la priorité et la portée sont en général exprimées en pourcentage de la prime directe. Ainsi, si on note $\{X_i\}_{i=1\dots n}$ les sinistres de la cédante durant la période de couverture, la charge du *Stop Loss* sera :

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{si } \frac{\sum X_i}{P} \leq \text{priorité} \\ \left(\frac{\sum X_i}{P} - \text{priorité} \right) * P & \text{si } \text{priorité} \leq \frac{\sum X_i}{P} \leq \text{priorité} + \text{portée} \\ \text{portée} * P & \text{si } \text{priorité} + \text{portée} \leq \frac{\sum X_i}{P} \end{array} \right.$$

Si l'on note S le sinistre à charge du réassureur, on a :

$$S = \min \left\{ \max \left(\frac{\sum X_i}{P} - \text{priorité}, 0 \right), \text{portée} \right\} * P$$

Il est classique d'avoir ce genre de protection pour la grêle, les dégâts des eaux ou le gel par exemple. En effet, ces évènements sont en général très localisés géographiquement et la survenance d'un seul évènement a peu de chance de compromettre le résultat d'une année. En revanche, une fréquence trop importante de ces évènements au cours de la période peut être plus problématique. Le *Stop Loss* permet de se protéger contre ce type de survenances.

Le « *wording* » (les conditions du traité) est ici très important. En effet, il doit détailler clairement les différents éléments pris en compte dans le calcul du ratio S/P ainsi que la période sur laquelle il

est calculé (année comptable ou exercice de souscription par exemple). Ainsi, si la protection se fait sur une base comptable et que la cédante a en fin d'année un loss ratio égal à la priorité du traité, elle aurait intérêt à passer des montants de provisions importants pour l'exercice. En effet, son S/P net de réassurance demeurerait le même (la différence étant prise en charge par le réassureur) et cela lui permettrait d'améliorer ses futurs résultats. Il est donc important que le réassureur ait une vision très précise du fonctionnement du traité pour ne pas avoir de mauvaises surprises par la suite.

1.4.3 Clauses de réassurance

Dans notre cas, il est important de rappeler deux clauses qui interviendront dans notre étude : la clause de rachat de rentes indemnitaires et la clause de stabilisation.

Clause de rachat de rentes indemnitaires

Dans le cas où un dossier est susceptible d'être indemnisé sous forme de rente, on doit appliquer des dispositions spéciales vis-à-vis du réassureur. Pour déterminer la charge de la rente, on doit utiliser des éléments de calcul convenus dans les traités de réassurance. Dans notre cas, on a selon les années de survenance les dispositions suivantes :

Année de survenance	Table utilisée	Taux d'actualisation
1998-2013	TD 88 -90	3,50 %
2014	TH/TF 06-08	2,50 %

FIGURE 1.8 – Critères pour le calcul des provisions des rentes indemnisées

Lorsqu'un sinistre donnant lieu au versement d'une rente intéresse le traité de réassurance, peu importe que la rente ait été fixée de façon amiable ou judiciaire, le réassureur participera à l'indemnisation de celle-ci par le versement de sa part au capital constitutif tel que calculé selon les deux critères précédents. Si ultérieurement, une aggravation de l'état de santé de la victime était constatée, le réassureur serait amené à participer à l'indemnisation supplémentaire qui en résulterait dans les limites de son engagement. Dans ce cas, un ajustement de la part du capital constitutif à la charge du réassureur serait effectué immédiatement.

Clause de stabilisation

Des années peuvent s'écouler entre la survenance du sinistre et son règlement. En respectant la structure de réassurance non proportionnelle, le réassureur supporterait seul l'aggravation des coûts due à l'inflation. Le principe de la clause de stabilisation est que la proportion du sinistre pris en charge par les deux parties soit la même, quelle que soit la date de règlement du sinistre et la durée de déroulement de ce dernier.

La cédante et le réassureur choisissent alors un indice de référence qui permettra de mesurer l'inflation des coûts des indemnités. Si l'indice de référence applicable au moment du paiement d'un sinistre fait apparaître une variation de plus de x % par rapport à l'indice de base, les montants de la priorité et de la portée seront augmentés ou diminués proportionnellement à cette variation.

Ensuite, on pourra évaluer la part en charge du réassureur en fonction des nouvelles priorités et portées.

1.4.4 Autres solutions de transfert de risque

Il s'agit de certains mécanismes, autres que la réassurance historique, qui permettent de se protéger contre certains risques. On retrouve les catégories suivantes :

– **Sécurisation : *Cat Bonds***

Il s'agit de bons émis par la compagnie d'assurance ou réassurance et leur but est de se protéger contre des catastrophes naturelles. Si l'évènement n'a pas lieu, alors la compagnie paie un coupon aux investisseurs. Dans le cas contraire (si l'évènement se déclenche), l'assureur ne verse aucun paiement aux investisseurs et le montant du bon plus les bénéfices sont utilisés pour payer les sinistres.

– **Emprunt du capital conditionnel à un événement**

Dans ce mécanisme, un organisme extérieur est obligé d'assurer la liquidité de l'organisme assureur dans le cas d'un événement défini. On en fait souvent appel lors des catastrophes naturelles. Les termes du contrat et les déclencheurs de l'obligation sont définis en avance.

– **Réassurance *finite***

Il s'agit d'un transfert significatif des risques liés à la souscription et à l'échéance des paiements. La perte maximale potentielle du réassureur peut être importante mais elle est délimitée et définie à l'avance. Elle excède les primes dues par la cédante sur toute la durée du contrat pour prendre en compte explicitement la valeur temporelle de l'argent. Elle prévoit un partage contractuel qui vise à lisser dans le temps les répercussions économiques du risque réassuré.

Le projet d'une réassurance structurée doit répondre aux exigences du régulateur : le transfert de risque doit être palpable et suffisant pour que les mouvements ne soient pas considérés uniquement comme un prêt et un emprunt. Le recours à la réassurance structurée ou *finite* n'est possible qu'à la condition que toutes les ressources de l'assurance traditionnelle soient épuisées. De même, le recours à cette solution doit être regardé et calibré au regard de Solvabilité 2. Il s'agit de savoir quels sont les besoins de la cédante : protection du capital ou élargissement de ses capacités de souscription. Il y a deux types de cette réassurance en fonction des risques qui sont couverts : réassurance prospective et réassurance rétrospective. On s'intéresse uniquement à la réassurance rétrospective.

1.4.5 Réassurance rétrospective

Les provisions de la non-vie n'ont pas été prises en compte dans le calcul du capital dans le cadre Solvabilité I. Cependant, sous Solvabilité 2, c'est une clé essentielle pour le calcul de capital. Cette charge de capital supplémentaire peut être déplacée vers une société de réassurance par l'intermédiaire de solutions rétrospectives, qui offrent une variété d'avantages de solvabilité.

Largement négligées par les régulateurs européens, les provisions dans la non-vie ont attiré uniquement l'attention des agences de notation, des investisseurs et des experts internes de risques. Cependant, avec l'évolution vers des modèles plus complets incitée par le passage en Solvabilité 2, elles ont été reconnues comme une source majeure de volatilité et de capital requis. La cinquième étude de l'impact quantitatif de l'EIOPA confirme l'importance des provisions dans cette branche : « Pour la branche non-vie, les sources de risque sont le nombre de sinistres et l'estimation incorrecte des réserves ».[3]

La réassurance rétrospective peut apporter des protections contre le risque de réserves et en plus, libérer du capital qui autrement serait nécessaire pour les soutenir. Le coût économique et la marche régulatrice que le risque de réserve représente pourraient être transférés par la réassurance

rétrospective. Il existe deux composantes souvent combinées pour mitiger les pertes entraînées par le risque de réserve.

Il s'agit du transfert de portefeuille et la couverture contre les situations adverses. Dans le premier cas, le réassureur prend la charge des sinistres en échange des portefeuilles couvrant les réserves. Cela entraîne le coût temps du transfert du portefeuille et le risque d'investissement pour la cédante. Dans le second cas, le réassureur paie les sinistres qui ont besoin d'une consommation de réserves au-dessus d'un montant préétabli. Le réassureur reçoit en échange une partie de la prime. Ainsi, on enlève le risque d'insuffisance des réserves pour la cédante. Dans le cas de notre étude, on s'intéresse uniquement au risque de réserves sans prendre en compte « le transfert du portefeuille ».

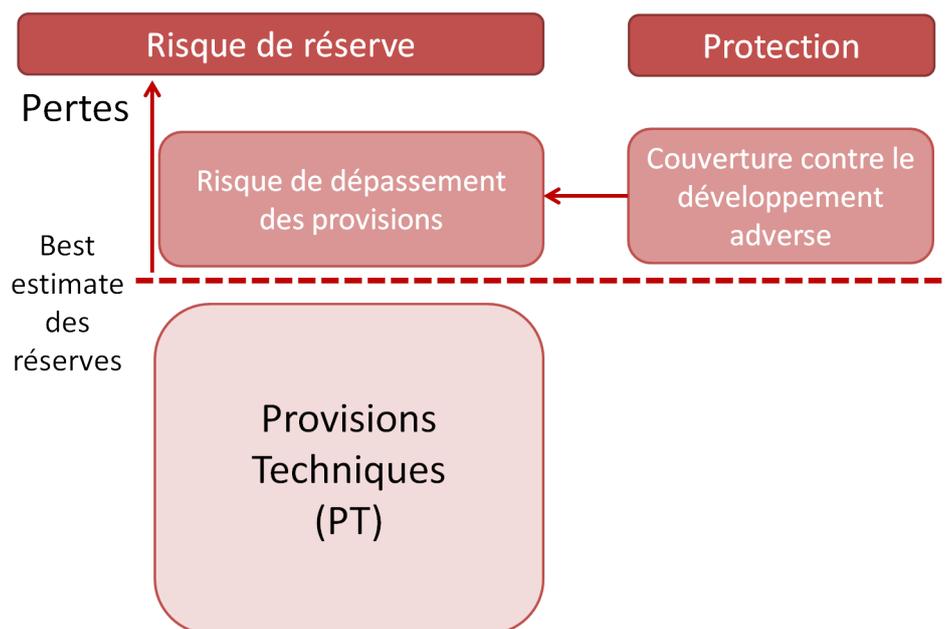


FIGURE 1.9 – Risques couverts par la réassurance rétrospective

La réassurance rétrospective ne diminue pas immédiatement les provisions nettes. Elle intervient uniquement dans le cas des scénarios adverses. On n'est pas en train de parler d'une diminution des provisions, mais plutôt d'une non-augmentation. C'est-à-dire que l'on limite les provisions : on a la certitude de payer un maximum de charges. La réassurance permet de libérer du capital et de réduire la volatilité des bénéfices. Dans l'évènement d'un scénario adverse, une compagnie non réassurée aurait besoin d'augmenter ses provisions mais aussi d'augmenter l'exigence de capital provenant du module du risque de souscription de non-vie. La couverture en réassurance protège contre ces augmentations et permet de maintenir une certaine flexibilité financière car l'option d'augmenter le capital n'est pas affectée par la protection de réassurance.

La couverture en réassurance a un impact dans les modèles internes. Elle peut être utilisée pour assurer la libération d'un certain capital en se basant sur l'impact dans la *Value at Risk* (VaR) à 99,5 %. En conclusion, la réassurance rétrospective peut réduire de façon significative les exigences de capital correspondantes aux provisions dans la non-vie.

Chapitre 2

Dommages Corporels

Dans cette partie, on analysera plus en profondeur les caractéristiques des sinistres étudiés dans ce mémoire. Il s'agit des sinistres corporels : contrairement aux dommages matériels, les personnes subissent des préjudices. Il est donc important de connaître la nature des dommages qui sont produits par ce type de sinistres. L'appréciation de la valeur humaine joue un rôle primordial dans l'analyse de ce type d'accidents. Du point de vue de l'assureur, il s'agit de sinistres qui sont peu fréquents mais dont le montant de provision est souvent très important. On sait également que l'évaluation de ces sinistres évolue d'une façon très instable dans le temps, d'où le besoin d'explicitier les causes de ces évolutions d'évaluation. Dans ce chapitre, on établira le lien entre la nature des dommages corporels et la volatilité des évaluations des sinistres.

2.1 Définition et chiffres

Comme expliqué précédemment, on se focalise sur les dommages corporels graves des accidents routiers. Pour définir le périmètre de notre étude, il va falloir expliquer les catégories ministérielles auxquels les sinistres automobiles appartiennent.

Le code des assurances comprend l'ensemble des lois et des règlements qui régissent les sociétés d'assurances et les relations entre assureurs et assurés. C'est la loi du 13 juillet 1930 sur les assurances des véhicules terrestres à moteur qui pose la première pierre de ce qui deviendra le code des assurances.

Dans les dispositions comptables et statistiques applicables aux entreprises, on retrouve la liste des catégories ministérielles des catégories d'assurance. Cela permet d'uniformiser les codes utilisés dans toutes les compagnies. Ainsi, à partir de la catégorie 20 à la catégorie 39 on retrouve des catégories relatives à l'assurance non-vie.

On se focalisera sur deux catégories de l'assurance non-vie : C22 Automobile (responsabilité civile) et C23 Automobile (dommages). Comme le libellé l'indique, il s'agit de tout choc qui a lieu sur le réseau routier entre un engin roulant (automobile, moto, etc.) et tout autre chose ou personne et qui engendre des blessures humaines et/ou des dégâts matériels. De nombreux facteurs contribuent aux risques de collisions comme par exemple : type de véhicule, la vitesse de circulation, l'environnement routier, l'expérience du conducteur mais aussi son comportement et son état physique.

On constate la différence entre les sinistres encaissés dans les dommages et ceux qui sont encaissés dans la responsabilité civile. Pour chaque de ces catégories ministérielles, on a également une sous-catégorie à l'intérieur séparant les dommages matériels et les dommages corporels. On s'intéresse uniquement aux dommages corporels.

	C22-RC	C23-Dommages
Corporels	ETUDE	ETUDE
Matériels	X	X

On constate que le nombre d'accidents corporels enregistrés par la Sécurité Routière est globalement en baisse depuis 10 ans. Néanmoins, l'année 2014 a été une année exceptionnelle : on relève 56 812 accidents corporels en 2013 contre 58 191 en 2014.[16]

Il y a une augmentation de 2,4 %. Cette baisse constatée dans la décennie passée (mise à part la dernière année) est le résultat de la volonté du gouvernement pour éviter des accidents de la route. Le renforcement des mesures de prévention et des contrôles autoroutiers entraînent une baisse des accidents.

Bien que la situation se soit améliorée, il n'en demeure pas moins que le montant des indemnités versées par les assureurs aux victimes ne cesse d'augmenter. Par conséquent, le résultat des assureurs sur ces sinistres reste relativement constant au long des dernières années, en enregistrant des pertes spécifiquement dans les dommages corporels. Cependant, dans le domaine automobile, l'année 2014 a été marquée par une hausse du nombre de blessés et de tués sur les routes, après 25 ans de baisse régulière. L'augmentation de la fréquence des dommages corporels (+2 %) et la hausse sensible et continue du coût de ces sinistres pèsent sur les résultats de la branche automobile, dont le ratio combiné s'établit à 107 %.[12]

De même, la majorité des dossiers corporels concerne des blessés légers, leurs indemnisations ne constituant toutefois qu'un très bas pourcentage de la totalité des indemnités versées. C'est pour cela qu'on fait la différence entre dommages corporels graves et non graves. Pour nous, le seuil de gravité sera 150 000 € et tout sinistre qui dépasse le seuil une fois dans sa vie restera toujours défini comme un sinistre grave. En se basant dans l'historique de la compagnie et avec la dernière vision du 12/2014, on constate les résultats suivants :

Sinistres corporels déclarés (clos et en cours) :	193 455
Sinistres corporels graves déclarés :	1 822

On retrouve les sinistres sans aucune restriction par rapport à l'année de survenance. Cependant, pour rendre plus précise notre étude, on se concentrera sur les sinistres dont l'année de survenance est supérieure ou égale à 2007. On retrouve les informations suivantes à la vision du 12/2014 :

Sinistres corporels déclarés (clos et en cours) :	100 593
Sinistres corporels graves déclarés :	1 043

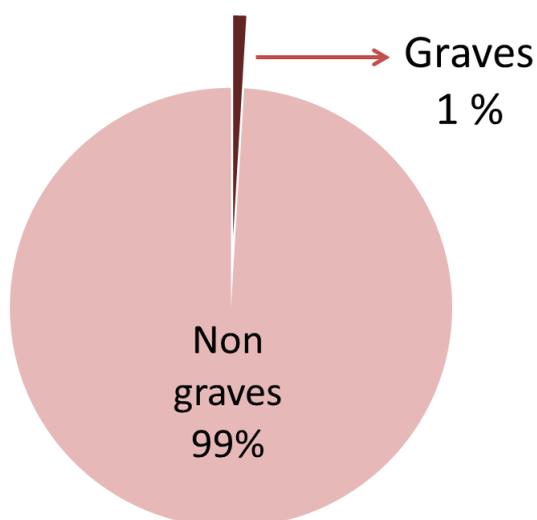


FIGURE 2.1 – Répartition du nombre de sinistres entre Graves et Non Graves (Survenances entre 2001 et 2014)

En effet, on constate que les sinistres corporels graves représentent en nombre uniquement 1 % des sinistres corporels déclarés.

Cependant, ce 1 % en nombre représente plus de deux tiers du coût total que l'on indemnise dans les dommages corporels, d'où l'enjeu des dommages corporels graves.

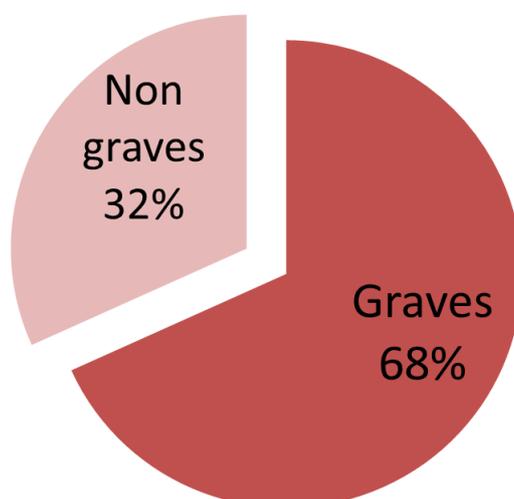


FIGURE 2.2 – Répartition du coût des sinistres entre Graves et Non Graves (Survenances entre 2001 et 2014)

On relève également l'évolution suivante : on constate une augmentation de la part représentée par les sinistres corporels graves. A partir de 2008, le pourcentage du coût pour les sinistres graves augmente de plus en plus.

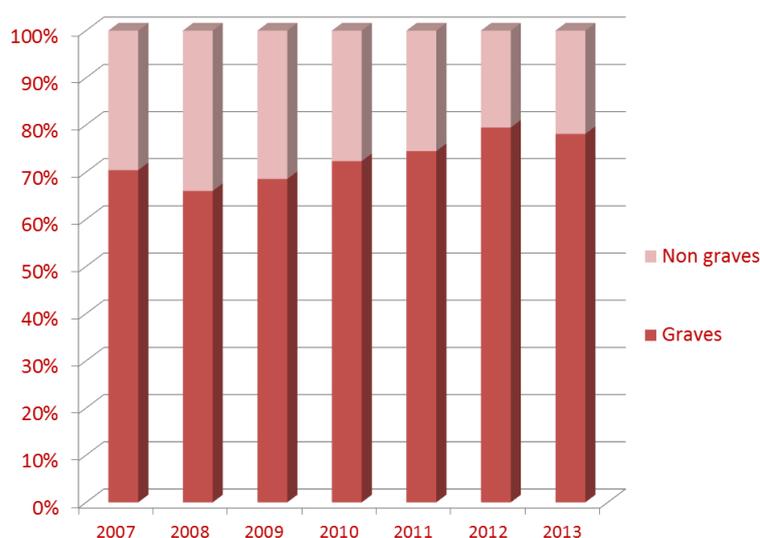


FIGURE 2.3 – Historique de la répartition du coût des sinistres entre Graves et Non Graves (Surveillances entre 2007 et 2013)

Tout cela nous aide à justifier pourquoi on doit se focaliser sur les dommages corporels et surtout, sur les dommages graves. Maintenant, on se concentrera sur l'indemnisation des dommages corporels.

2.2 Indemnisation et provisionnement des dommages corporels

Comprendre les étapes-clés dans la gestion d'un sinistre permet de mieux postuler un modèle et de réfléchir à l'acceptabilité des hypothèses. Dans le cas des sinistres corporels, on constate que les prestations payées par l'assureur s'étendent souvent sur des périodes de longue durée : il s'agit d'une branche dite longue. Les principales étapes de la vie d'un sinistre corporel sont les suivantes :

- la notification à l'assureur et l'ouverture du dossier sinistre par le gestionnaire du sinistre
- la mise en œuvre de différentes expertises
- le premier paiement d'indemnités à la victime (préjudices temporaires, ou avance d'autres postes d'indemnisation)
- la date de consolidation
- la liquidation de l'indemnisation
- la clôture du dossier sinistre
- d'éventuels recours menés par l'assureur contre le tiers responsable ou son assureur, ou bien, des recours contre le réassureur
- la réouverture du dossier qui mène à des changements dans l'évaluation et par conséquent, à des règlements et/ou à des nouvelles provisions.

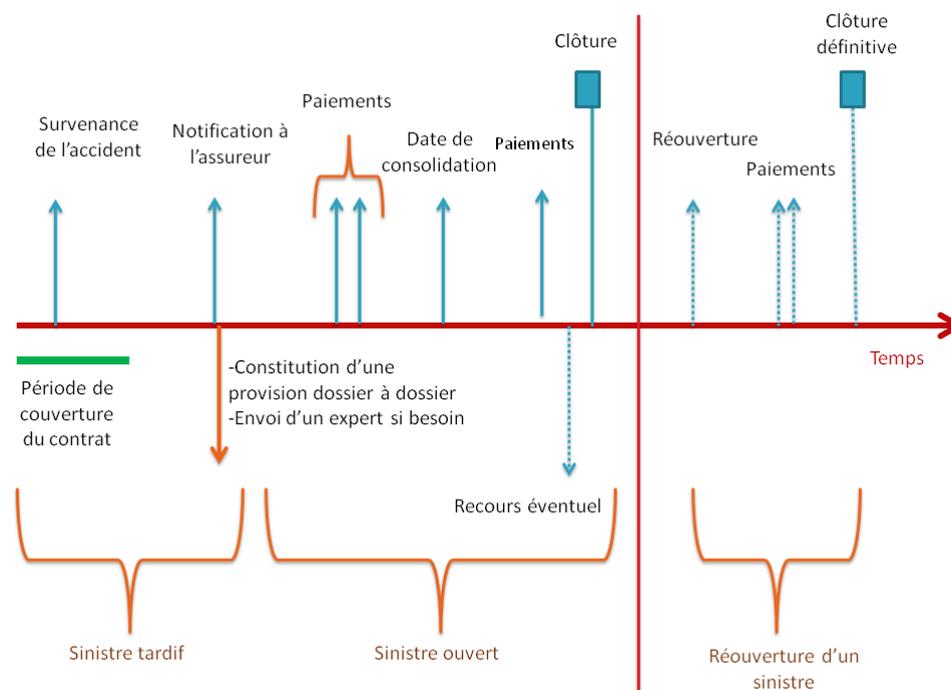


FIGURE 2.4 – Cycle de vie d'un sinistre

Au moment de l'ouverture d'un sinistre, l'assureur doit évaluer les règlements des prestations correspondantes au sinistre. Dans l'idéal, l'évaluation première est égale à la somme des règlements futurs. Cependant, il y a toujours des sinistres pour lesquels la provision est réétudiée et subit des augmentations. De même, il y a des diminutions à cause des recours vers d'autres assureurs ou vers des réassureurs. Dans la pratique, la première évaluation n'est pas égale à la somme des règlements. Elle est modifiée au fil du temps.

Le principe de la réparation du dommage corporel est de rétablir aussi exactement que possible l'équilibre détruit par le dommage et de replacer la victime dans la situation où elle se serait trouvée si l'acte dommageable n'avait pas eu lieu.

La réparation du dommage corporel a subi une constante évolution due à des réflexions et des remises en question. En effet, face aux constats des atteintes des victimes et aux conseils des juges, il y a eu une prolifération des différents postes d'indemnisation. On constate que les juges essaient d'indemniser au maximum la victime et accordent dans les cas les plus douloureux, des sommes non négligeables pour leur permettre de diminuer les effets négatifs des recours des organismes sociaux. Les assureurs ne peuvent pas aller à l'encontre de l'intention des juges de favoriser les victimes et de préserver leurs intérêts, bien que les juges possèdent une liberté d'appréciation qui ne permette pas d'uniformiser les hauteurs des indemnisations. Par conséquent, aucun barème ne peut être envisagé en droit français. Néanmoins, il peut y exister des échanges entre les différentes juridictions et entre les juges pour essayer d'obtenir des points de comparaison et tenter d'éviter des dérives qui pourraient avoir un coût supplémentaire non régulé.

En vue de cette problématique, les pouvoirs publics ont pris le sujet en main et ont décidé de créer des commissions de travail afin de présenter des pistes de réflexion. Il en est résulté deux propositions, une nomenclature des préjudices, bien qu'indicative et non obligatoire, ainsi qu'une réforme du recours des tiers payeurs, à caractère d'ordre public et qui devrait protéger les intérêts des victimes, afin de mettre un terme aux dérives jurisprudentielles. Ces points sont d'une importance majeure pour les assureurs, qui finalement, subissent les conséquences financières.

Chaque dossier doit être provisionné dans l'année de survenance du sinistre qui constitue l'exercice de référence sur le plan comptable. Le provisionnement doit être le plus fiable possible avant la clôture de l'exercice : on doit assurer un suivi pour toute insuffisance (ou surplus) des provisions sur l'exercice de survenance du sinistre risquant de se traduire par un sous-provisionnement (ou surprovisionnement) au moment du règlement du dossier.

Cela a des conséquences importantes pour l'assureur car il raisonne chaque année en terme de rapport Sinistres/Primes. Il s'agit de l'équilibre technique entre le montant des primes encaissées et celui des sinistres réglés. Ce rapport permet de déterminer les équilibres techniques de l'assureur de sorte qu'un sous-provisionnement aboutit à des compteurs trop optimistes par rapport à la réalité des résultats et un surprovisionnement aboutit à des compteurs trop pessimistes. Le rapport S/P est un facteur essentiel permettant de définir la nature de nos relations financières avec les réassureurs et aussi de définir notre positionnement tarifaire pour les contrats.

Les caractéristiques des dommages corporels entraînent également les problèmes suivants :

- Problèmes des garanties qui généralement se concluent par un tout ou rien : c'est à dire que certains postes de préjudice ou certains types de sinistres seront indemnisés à 0 ou 100 %. De cela, le provisionnement est très volatile. La conséquence pour l'assureur est que l'on provisionne « en supposant » l'état où il y a une indemnisation totale ce qui signifie une allocation de capital assez élevée.
- Problèmes de responsabilités difficiles à déterminer (incertitude factuelle ou jurisprudentielle) : à cause de la branche étudiée (branche auto), il faut en grande mesure déléguer des responsabilités juridiques lors des accidents. Ainsi, les montants indemnisés ne seront pas les mêmes selon les différents cas. Les provisions changeraient et l'assureur aurait souvent de recours vis-à-vis d'autres assureurs.
- Problèmes de préjudices (évolution de l'état de la victime) : étant donné la nature des accidents, les séquelles sont très difficiles à prévoir et malheureusement dans beaucoup de cas, l'état de la victime ne fait qu'empirer : les montants à indemniser évoluent en fonction de l'état de la victime

2.3 Nomenclature Dintilhac et postes de préjudices

Si la définition des dommages soumis à évaluation du médecin est le résultat d'une forme de consensus d'ordre médical, en revanche, le contenu des postes de préjudice en découlant a fait longtemps l'objet de discussions au plan indemnitaire. En 2004, Mme Nicole Guedj, secrétaire d'Etat aux Droits des victimes, a présenté en Conseil des ministres, le 29 septembre 2004, son programme d'action en faveur des victimes. Elle déclarait : *« Les victimes de dommages corporels doivent bénéficier de modalités d'indemnisation plus claires et plus équitables. Afin de rationaliser l'indemnisation du préjudice corporel, il convient de rendre compréhensibles par le public et accessibles aux professionnels les informations déterminantes pour le calcul de l'indemnisation. A cet effet, d'ici à la fin du premier semestre 2005 seront diffusées une nomenclature des chefs de préjudice et lorsque c'est possible une table de concordance permettant de lier clairement à chaque chef de préjudice les prestations versées par les organismes sociaux »*.

Ainsi, suite aux recommandations du gouvernement, le conseil national d'aide aux victimes (CNAV) a été chargé de faire des propositions pour améliorer les modalités de leur indemnisation et de rendre plus justes et plus transparentes les réparations pour les dommages corporels. Un groupe de travail a été créé en 2002 avec la tâche de faire une distinction plus précise des préjudices strictement personnels qui reviennent à la victime et ceux sur lesquels les organismes de sécurité sociale peuvent exercer leur recours.[9] Il a préconisé un référentiel indicatif national conçu comme un instrument de référence à la disposition des intervenants en matière d'indemnisation. Souvent l'indemnisation du dommage corporel est le résultat d'évaluations médicales et juridiques qui sont mal comprises par

la victime, donc le nouveau référentiel avait pour objectif de rendre plus claires les réparations et d'indemniser le mieux la victime. On a également essayé d'éviter les disparités d'évaluation et d'uniformiser les critères pour déterminer le montant de la réparation. A l'égard des acteurs juristes de l'indemnisation, la méthodologie ne tend pas à limiter leur pouvoir d'appréciation en leur imposant des normes uniformes, forfaitaires et rigides, mais à leur donner des instruments d'évaluation à la fois objectifs et souples.

Du besoin de bien informer les victimes, on a du établir un barème médical comme un instrument objectif d'évaluation. Il est étalonné en pourcentage de taux d'incapacité fonctionnelle et permet de donner une mesure chiffrée des atteintes à la personne, médicalement constatables.

Pour que le juriste, magistrat ou assureur, puisse indemniser ces préjudices, il doit connaître la nature des indemnisations et le préjudice relevant du droit. Chacun des deux intervenants principaux au processus de réparation d'un dommage corporel aura un rôle différent même s'ils sont complémentaires : le médecin évaluera le dommage alors que le juriste aura en charge l'indemnisation des préjudices qui en découleront.

La définition de chaque poste de préjudice est décrite dans le rapport Dintilhac de 2005 (cf. annexe 1). Cette nomenclature reprend la division tripartite classique, c'est-à-dire en faisant d'abord la distinction entre les préjudices de la victime directe et ceux de la victime par ricochet, ensuite la séparation entre les préjudices patrimoniaux (ou économiques) et extra-patrimoniaux (ou non-économiques), enfin la répartition entre les préjudices à caractère temporaire et ceux à caractère permanent, la date de consolidation restant « la ligne de partage ».

VICTIME DIRECTE	Avant consolidation (préjudices patrimoniaux temporaires)		Après consolidation (préjudices patrimoniaux permanents)	
Préjudices patrimoniaux	Dépenses de santé actuelles	DSA	Dépense de santé futures	DSF
	Perte de gains professionnels actuels	PGPA	Frais de logement adapté	FLA
	Frais divers	FD	Frais de véhicule adapté	FVA
			Assistance par tierce personne	ATP
Préjudices extra-patrimoniaux			Perte de gains professionnels futurs	PGPF
			Indice professionnelle	IP
			Préjudice scolaire, universitaire ou de formation	PSU
	Déficit fonctionnel temporaire	DFT	Déficit fonctionnel permanent	DFP
	Souffrances endurées	SE	Préjudice d'agrément	PA
	Préjudice esthétique temporaire	PET	Préjudice esthétique permanent	PEP
			Préjudice sexuel	PS
		Préjudice d'établissement	PE	
		Préjudices permanents exceptionnels	PPE	
		Préjudices liés à des pathologies évolutives	PEV	

VICTIME PAR RICOCHET	En cas de décès de la victime directe		En cas de survie de la victime directe	
Préjudices patrimoniaux	Frais d'obsèques	FO	Pertes de revenus des proches	PR
	Pertes de revenus des proches	PR	Frais divers des proches	FD
	Frais divers des proches	FD		
Préjudices extra-patrimoniaux	Préjudice d'accompagnement	PAC	Préjudice d'affection	PAF
	Préjudice d'affection	PAF	Préjudice extra-patrimoniaux exceptionnels	PEX

FIGURE 2.5 – Nomenclature Dintilhac

Cette nomenclature, de portée générale, comporte 29 postes : 20 pour la victime directe, répartis en 10 postes patrimoniaux et 10 extra-patrimoniaux et 9 pour la victime indirecte.

2.4 Date de consolidation

La date de consolidation [5] est une étape très importante dans le cheminement d'un dossier de dommage corporel. Sans elle, il ne peut y avoir d'indemnisation. Cette date met un terme aux préjudices temporaires qui peuvent être ainsi soldés et marque le début des préjudices permanents qui peuvent être ainsi indemnisés.

La seule définition existante sur la date de consolidation a été donnée par la commission de réflexion sur la doctrine et la méthodologie de l'évaluation du dommage corporel en droit commun : « La consolidation est 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 d'incapacité permanente réalisant un préjudice définitif ». Le contenu de cette définition a été repris par la nomenclature Dintilhac.

Cette consolidation médico-légale est déterminée par le médecin évaluateur. Elle a les particularités suivantes :

- elle ne coïncide pas nécessairement avec la fin des processus physiologiques aboutissant à la cicatrisation d'une plaie, à la solidité d'un cal de fracture, à la récupération de déficits neurologiques, etc.
- elle peut être différente de la date de reprise totale des activités professionnelles, ou de celle des activités personnelles
- elle n'est pas obligatoirement liée à la fin des soins, bien que ce repère reste un des plus significatifs. Inversement, la poursuite des soins n'oblige pas toujours à la repousser
- elle ne saurait être déterminée par la date de l'expertise sauf dans les rares cas où la stabilisation de l'état séquellaire coïncide avec l'examen de l'expert.

L'expert doit donc analyser méthodiquement l'évolution des lésions traumatiques pour :

- soit démontrer que la consolidation n'est pas acquise et proposer un nouvel examen
- soit déterminer a posteriori le moment où les lésions se sont stabilisées

En tout état de cause, la date de consolidation doit correspondre soit à la guérison, soit à la permanence des séquelles (ou à leur stabilisation au jour de l'expertise). Elle doit toujours être explicitée, en particulier si le médecin ne retient pas celle proposée par le médecin traitant ou les organismes sociaux. Théoriquement, fixer la date de consolidation, c'est indiquer que l'état séquellaire n'est plus susceptible d'évolution en amélioration ou en aggravation.

Ainsi la date de consolidation, point de départ des délais pour l'indemnisation des préjudices subis par chaque victime doit dépendre de faits médicaux précis et explicités.

2.5 Principaux postes de préjudices

En réalisant l'analyse des poids des postes de préjudices sur le coût total de chaque sinistre, on constate que certains postes sont beaucoup plus significatifs que d'autres. De même, on constate que certains postes ne sont pas toujours réparés. Ainsi, à partir d'une base individuelle de sinistres graves avec le détail des postes de préjudices, on effectue des regroupements afin de diminuer le nombre de postes étudiés. Il faut remarquer que dans le coût du sinistre, on ajoute souvent d'autres postes hors nomenclature Dintilhac, comme par exemple des charges patronales que l'assureur paye vers l'employeur de la victime ou les honoraires versés aux médecins chargés de l'évaluation du dossier.

En suivant le conseil des responsables du suivi des dossiers, on a réussi à regrouper les postes de préjudices en 7 ensembles selon la nature des postes.

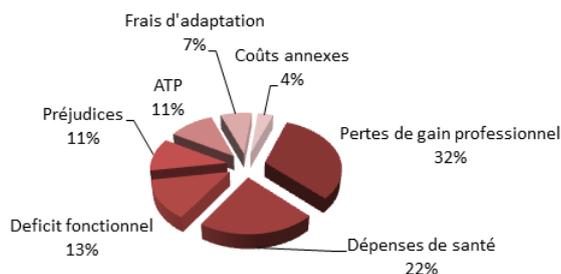
Regroupement par nature	Nomenclature Dintilhac
Assistance par tierce personne	Assistance par tierce personne
Déficit fonctionnel	Déficit fonctionnel permanent Déficit fonctionnel temporaire
Dépenses de santé	Dépenses de santé actuelles Dépenses de santé futures
Frais d'adaptation	Frais de logement adapté Frais de véhicule adapté
Préjudices professionnels	Perte de gain professionnel actuel Perte de gain professionnel futur Incidence professionnelle Charges patronales
Préjudices	Préjudice d'agrément Préjudice esthétique permanent Préjudice esthétique temporaire Préjudice d'établissement Préjudice lié à des pathologies évolutives Préjudice permanent exceptionnel Préjudice sexuel Préjudice extra-patrimoniaux des proches Préjudice patrimoniaux des proches Souffrances endurées
Coûts annexes	Frais avant consolidation Honoraires Pénalités Divers

FIGURE 2.6 – Regroupement des postes de préjudice

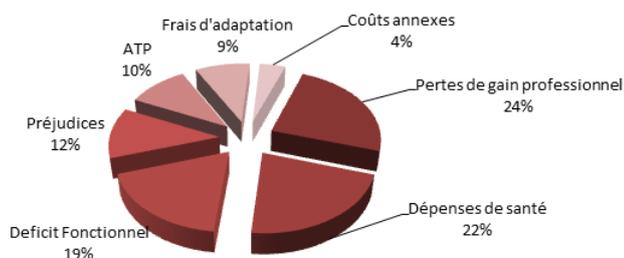
Avec cette classification, on peut étudier le poids de chaque groupe sur le montant total du sinistre. On a 7 groupes qui nous permettent de mieux appréhender les caractéristiques des sinistres corporels graves. En effet, plus un sinistre est grave, plus importants sont certains postes, alors que d'autres deviennent non représentatifs.

En réalisant une étude par tranche des coûts des sinistres, on obtient les répartitions suivantes :

Entre 0 et 1M



Entre 1M et 5M



Sup à 5M

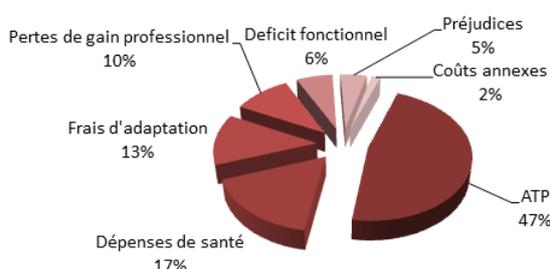


FIGURE 2.7 – Répartition des postes de préjudice par tranche de coût

On constate que pour les sinistres des tranches inférieures (sinistres attritionnels), on a une répartition homogène entre les différents postes de préjudice. On constate également que si le montant du sinistre augmente, alors certains postes de préjudice deviennent de plus en plus importants. Pour mieux appréhender cela, on procède à une analyse par composantes principales. Avec notre historique des sinistres corporels et avec le détail par poste de préjudice, on doit analyser le poids de chaque chef de préjudice dans le coût total du sinistre. On constate que les valeurs propres des deux premières composantes sont supérieures à 1, on pourrait donc les analyser plus finement.

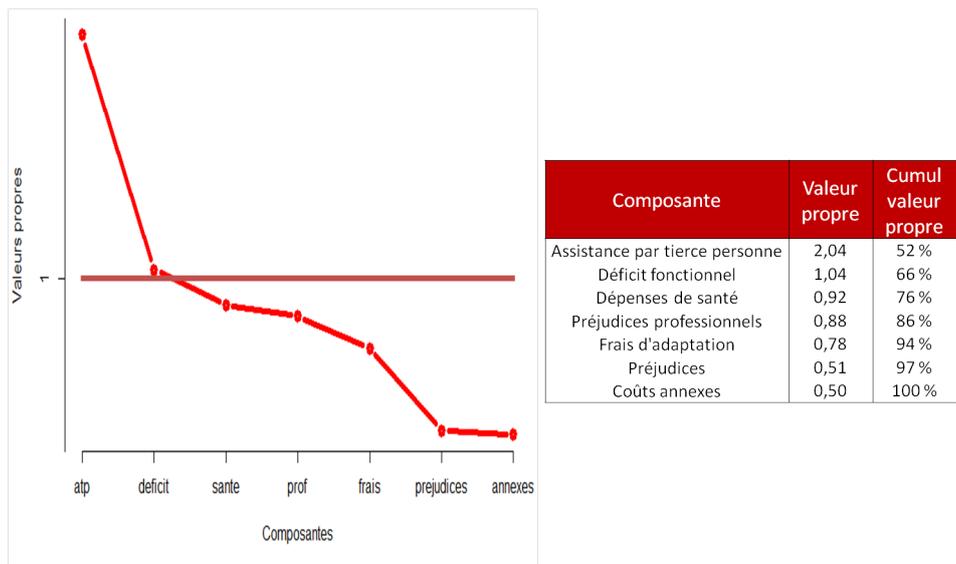


FIGURE 2.8 – Valeurs propres des composantes

Il est également intéressant de regarder la variance constatée au sein de chacune des composantes :

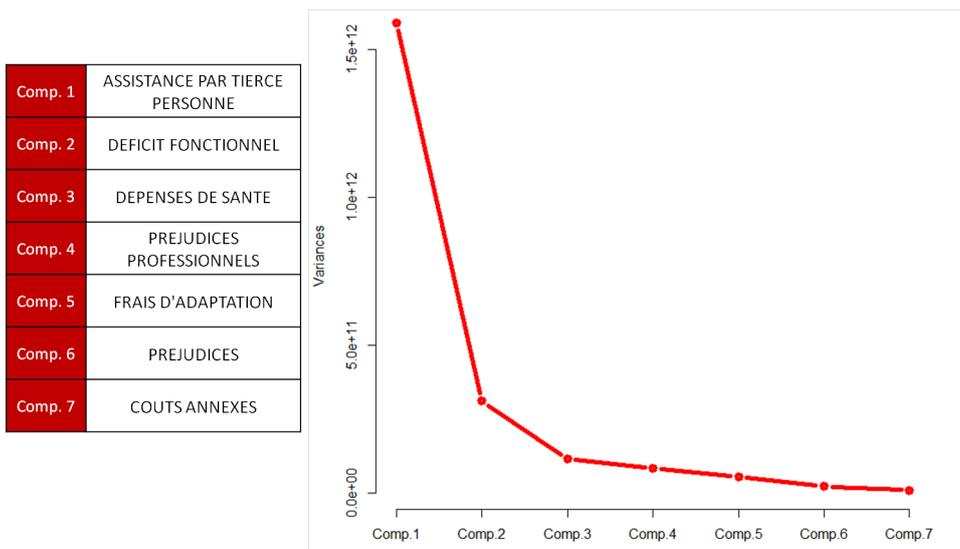


FIGURE 2.9 – Variance des composantes

On constate qu'il y a de grands écarts entre les postes les plus importants. En l'occurrence, on se focalisera sur les 4 principales composantes d'un sinistre corporel car avec ces 4 composantes, on peut expliciter 86 % du sinistre. On peut en déduire que le sinistre dépend de manière importante des 4 postes de préjudices suivants : assistance par tierce personne, déficit fonctionnel, frais de santé et préjudices professionnels.

a) Assistance par tierce personne (ATP)

Suite à un accident de l'autoroute, où il y a un dommage corporel, la victime a souvent besoin de l'intervention d'une tierce personne pour accomplir les actes de la vie de tous les jours. Suite

aux accidents, c'est la compagnie d'assurance ou le fonds de garantie des assurances obligataires (FGAO) qui doit effectuer les versements, soit après accord amiable, soit dans le cadre d'un procès. L'importance de ce poste de préjudice réside dans le fait d'accompagner la victime continuellement. En fonction de la complexité des aggravations et de l'état de la victime, on aura plus besoin d'une assistance par une tierce personne et également elle devra être plus spécialisée. Pour pouvoir évaluer le montant de la réparation de ce poste de préjudice, une expertise médicale a lieu.

L'évaluation du besoin en tierce personne peut être de 1 heure à 24 h/24h par jour, de 1 jour à 7 jour par semaine, et de 365 par an voire 400 jours et plus. Il faut remarquer que l'évaluation médicale décide uniquement du nombre d'heures, mais que le montant par heure indemnisée s'effectue devant le Tribunal. Ensuite, le taux horaire de la tierce personne s'évalue devant le Tribunal. Le taux horaire varie selon la qualification de l'aide humaine et aussi de la région où la victime se localise. Globalement, il est compris dans une fourchette allant de 12 € à 25 € par heure. Cependant, les Tribunaux ont un pouvoir souverain d'appréciation pour l'évaluation du taux. Chaque juridiction peut appliquer un taux différent. On constate que le prix horaire défini par les tribunaux est plus élevé que la moyenne du prix de marché, cela comme conséquence de répondre au souhait de la Cour de Cassation sur la réparation intégrale du préjudice corporel. Enfin, le nombre d'heures et le taux horaire retenus permettent de déterminer un coût annuel de l'assistance de tierce personne. Ce montant annuel est capitalisé sur un taux de rente établi par différentes tables de mortalité, en fonction de l'âge et du taux d'incapacité au jour de la consolidation. Il est important de savoir que dans certains dossiers, l'assistance par tierce personne est versée sous forme de capital lorsqu'on n'a pas encore atteint la date de consolidation. Ainsi, ce poste de préjudice est divisé en deux : l'ATP en capital et l'ATP en rente. Par conséquent l'estimation du coût de l'assistance dépend de deux facteurs : d'une part de la gravité des dommages de la victime et d'autre, du coût horaire de l'assistance.

b) Déficit fonctionnel

Ce poste de préjudice regroupe le déficit fonctionnel temporaire et le déficit fonctionnel permanent de la nomenclature Dintilhac. Le déficit fonctionnel temporaire correspond aux périodes d'hospitalisation de la victime, mais aussi à la « perte de qualité de vie et à celles des joies usuelles de la vie courante » que rencontre la victime suite à un dommage corporel. Le caractère temporaire réside dans l'évaluation avant la date de consolidation. L'évaluation de ce poste est variable selon le niveau de préjudices de la victime. Les atteintes aux fonctions physiologiques de la victime, 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 sont indemnisés dans ce poste de préjudice. Le calcul du déficit fonctionnel permanent s'effectue après la consolidation. Pour déterminer ce montant, le médecin expert doit évaluer l'état de la victime et estimer un taux global de Déficit Fonctionnel Permanent prenant en compte l'ensemble des séquelles. Ce taux peut varier de 0 à 100 %. Ensuite, la valeur du point est déterminée, d'une part en fonction du pourcentage du Déficit Fonctionnel Permanent, et d'autre part en fonction de l'âge de la victime. La valeur du point augmente avec le taux d'incapacité et diminue avec l'âge. [1]

Le calcul du montant est le suivant : pour une personne de 20 ans avec un déficit fonctionnel permanent global de 8 %, on retrouve une valeur de point de 1 590 € selon le barème indicatif et la valeur totale du DFP est de $1590 * 8 = 12720$ €. A savoir que ce montant est versé en capital une seule fois. [11]

c) Dépenses de santé

Ce regroupement prend en compte les dépenses de santé avant et après consolidation. Il s'agit de l'ensemble des frais hospitaliers, médicaux, paramédicaux et pharmaceutiques. Le médecin décrit en

effet tous les soins mis en œuvre en précisant leur imputabilité, leur nature, leur durée. Le médecin expert doit également indiquer la nature des soins paramédicaux dispensés, le nombre de séances et leur périodicité. Il doit indiquer la nature et la durée des principales prescriptions. Il convient de distinguer deux catégories de frais : les frais occasionnels et les frais viagers. Les frais occasionnels sont certains frais médicaux dispensés après la stabilisation de l'état séquellaire et qui n'ont pas pour but d'éviter des complications ou une aggravation de cet état. Ces frais sont essentiellement dus à la poursuite d'un traitement en cours, à un traitement médical ou chirurgical futur destiné à améliorer un dommage esthétique, l'ablation d'un matériel d'ostéosynthèse, le renouvellement de prothèses dentaires. Les frais viagers sont par définition des frais qui devront être exposés pendant toute la vie de la victime, soit en permanence, soit par périodes. La capitalisation de ces frais peut atteindre des montants très élevés. Il est facile d'imaginer la difficulté d'une telle évaluation, car en plus de la justification médicale de ces frais, de leur imputabilité, les médecins interrogés doivent se prononcer sur leur caractère réellement pérenne, sur leur périodicité, sur la durée de vie des matériels. Cette difficulté est d'autant plus réelle qu'il n'existe pas de « répertoire » de ces frais futurs ou de normes s'imposant en fonction de la nature des séquelles. De la difficulté de déterminer le montant et des montants aussi élevés estimés pour ce poste de préjudice, on décide souvent de réparer ce poste sous forme de rente viagère.

d) Préjudices professionnels

Ce poste comprend la perte de gain professionnel actuel et futur, l'incidence professionnelle et les charges patronales. Les postes les plus importants sont les pertes de gain professionnel. La nomenclature précise que ce sont « les pertes de gain liées à l'incapacité provisoire de travail, perte éprouvées par la 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 ». La nomenclature précise en outre que ces pertes peuvent être totales ou partielles et qu'elles doivent être évaluées *in concreto*. Le médecin-expert se prononce sur les périodes d'arrêt temporaire des activités professionnelles de la victime en précisant la durée et les conditions de reprise : il devra en discuter l'imputabilité à l'accident en fonction des lésions et de leur évolution, rapportées à la profession exercée au moment de l'événement causal en expliquant en quoi elles ont empêché la victime d'exercer d'une manière totale ou partielle son activité professionnelle. L'activité rémunérée doit être considérée dans un sens large : il peut s'agir de salaires, d'honoraires, de revenus commerciaux ou agricoles, etc. L'évaluation de ce montant est souvent versée en capital et elle dépend des revenus avant accident de la victime.

2.6 Cartographie sur le portefeuille

Suite à la description des différents postes, il faut savoir quels sont les postes susceptibles d'être versés sous la forme d'une rente. Il faut également savoir quelle proportion du montant de la charge provient de la rente.

On a constaté que deux postes de préjudices sont potentiellement versés en rente : il s'agit de l'Assistance Par Tierce Personne et les Dépenses de Santé. Il nous faudra également l'âge de la victime d'un sinistre pour pouvoir appliquer les tables de mortalité correspondantes. Pour pouvoir déterminer la part en rente de chaque sinistre et l'âge moyen à la date d'attribution de la rente, on effectue une étude sur nos sinistres historiques. On peut effectuer un abaque par tranche de coût avec les informations suivantes :

- le pourcentage de sinistres qui ont une partie en rente
- le pourcentage de la part en rente par rapport au montant du sinistre

– l'âge moyen des victimes lors de l'attribution de la rente

Tranches de coût du sinistre	0-500	500-1000	1000-1500	1500-2000	2000-3000	3000-4000	4000-5000	5000-6000	6000-8000	>8000	Sinistre moyen
Coût moyen	285 619	814 191	1 219 653	1 734 474	2 430 044	3 468 340	4 230 016	5 444 221	6 870 908	9 215 379	2 432 531
TP et Dépenses Futures (IPP>70%)	0%	3%	2%	4%	13%	24%	43%	39%	49%	57%	28%
Préjudice Professionnel	24%	19%	17%	15%	13%	11%	11%	7%	7%	6%	11%
FMP & Hospitalisation	27%	16%	14%	14%	12%	9%	6%	8%	8%	8%	11%
IPP	2%	19%	23%	22%	19%	13%	12%	13%	9%	6%	14%
F. Futurs & Appareils	2%	3%	4%	6%	2%	1%	1%	1%	0%	0%	2%
TP avant consolidation	4%	10%	13%	13%	11%	11%	3%	12%	8%	0%	9%
Préjudices Personnels	8%	7%	7%	6%	8%	4%	6%	3%	3%	4%	5%
Logement & Véhicule	0%	2%	3%	3%	3%	2%	2%	2%	1%	3%	2%
ITT	15%	8%	7%	6%	5%	3%	3%	3%	2%	1%	4%
Préjudice moral	5%	4%	3%	5%	4%	4%	2%	2%	2%	1%	3%
Divers	13%	9%	8%	7%	10%	18%	10%	10%	11%	16%	11%

FIGURE 2.10 – Proportion (% du coût total du sinistre) de chacun des postes de préjudices

En utilisant la vision 2014 des sinistres graves avec le détail par poste de préjudice, on a obtenu les résultats précédents. On peut observer que la proportion du coût du sinistre des postes de préjudices versés en rente devient de plus en plus importante en fonction du montant du sinistre. Cela se traduit par le fait que plus un sinistre est coûteux, il a plus de probabilités d'avoir une rente et plus cette rente sera importante.

Classe de sinistre	Part des sinistres qui ont une rente	Part de la rente sur le montant total	Age des victimes à l'attribution de la rente
0 - 500	0,0%	0,0%	-
500 - 1000	10,6%	3,2%	46,2
1000 - 1500	7,4%	1,9%	47,8
1500 - 2000	12,3%	4,1%	55,4
2000 - 3000	39,3%	12,9%	39,1
3000 - 4000	62,1%	24,1%	37,4
4000 - 5000	87,5%	42,8%	25,3
5000 - 6000	77,8%	38,6%	31,3
6000 - 8000	85,7%	48,8%	27,8
> 8000	100,0%	56,5%	26,1

FIGURE 2.11 – Abaque généré avec les sinistres historiques par des tranches de coût

Dans le tableau précédent, on prélève plus d'informations moyennes par tranche de coût. Ces informations seront nécessaires dans le chapitre 5 pour appliquer les critères du réassureur lors des rachats de rentes.

Chapitre 3

Sinistres attritionnels

Une fois comprise la dynamique et les caractéristiques des sinistres corporels, on procède à la partie de simulation et de réplique de notre portefeuille étudié. Le but étant de mettre en place une réassurance rétrospective, il est nécessaire de liquider les sinistres qui se trouvent déjà dans notre portefeuille pour pouvoir évaluer le coût à l'ultime du portefeuille.

On part du principe que les méthodes usuelles de provisionnement sur des données agrégées ne peuvent pas s'appliquer à la totalité des sinistres. On segmentera donc notre portefeuille en deux parties. D'un côté, on évaluera le coût à l'ultime de nos sinistres attritionnels avec des méthodes usuelles de liquidation de triangles agrégés et d'un autre, on évaluera la charge à l'ultime de nos sinistres graves en utilisant une approche de développement individuelle. On optera pour la méthode dite ligne à ligne car on constate qu'il est très limité d'utiliser des méthodes usuelles de provisionnement sur les tranches supérieures.

Dans cette partie, on introduira d'abord certaines notions propres aux sinistres dans la branche automobile et ensuite on s'intéressera à la liquidation des triangles agrégés des sinistres attritionnels. Pour la liquidation, on utilisera des méthodes usuelles : en passant par la méthode de Chain-Ladder, on appliquera la méthode de *Bootstrap* afin d'obtenir des simulations de la charge ultime par année de survenance. Ces simulations nous permettront dans le chapitre 5 de consolider nos sinistres attritionnels avec les sinistres graves.

3.1 Déroulement d'un sinistre

Il faut commencer par décrire certains enjeux de la branche non-vie en assurances. En effet, les assurances ont une caractéristique fondamentale : l'assureur reçoit en avance les primes et il ne connaît pas avec certitude le montant de la prestation qu'il devra verser. Par conséquent, l'assureur ne doit pas uniquement comptabiliser ses dettes certaines, mais également ses dettes probables à l'égard de ces assurés et des bénéficiaires des contrats. Il s'agit des provisions techniques.

Les provisions techniques correspondent aux charges à prévoir pour faire face aux prestations non encore versées mais prévisibles des contrats en cours. Globalement, il existe deux types de provisions : d'une part, on provisionne les prestations concernant les sinistres déclarés à l'assureur (« sinistres ouverts ») et d'autre part, on provisionne les prestations concernant les sinistres déjà survenus mais pas encore déclarés à l'assureur (« sinistres tardifs »).

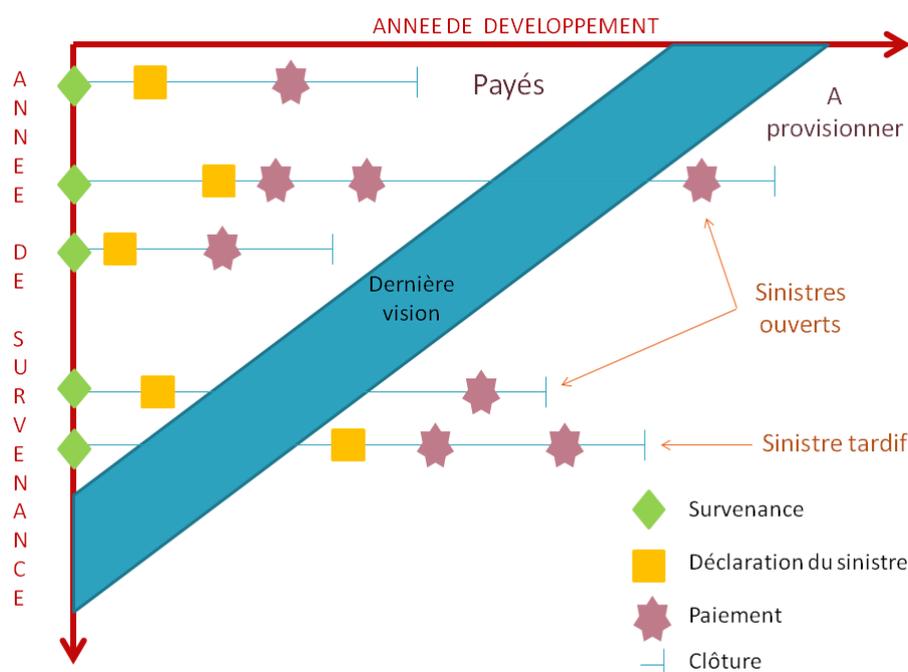


FIGURE 3.1 – Diagramme de Lexis sur les engagements futurs de l'assureur

Comme dans solvabilité 2, les normes IFRS autorisent la valorisation des contrats d'assurance par la méthode des portefeuilles répliquants. L'évaluation des contrats d'assurance repose alors sur trois blocs :

- un *Best Estimate*
- une marge pour risque
- une marge résiduelle

On s'intéresse uniquement au *Best Estimate* car notre périmètre (dommages corporels) est une sous-partie des branches pour lesquelles on calcule des marges pour risques et des marges résiduelles.

3.2 Structure comptable d'un sinistre

Dans cette section, on décrira certains postes comptables qui font partie d'un sinistre. Il s'agit de la décomposition des provisions d'un sinistre individuel.

Best Estimate

L'estimation des flux de trésorerie doit refléter les perspectives de l'entité : le *Best Estimate* doit être calculé comme la valeur actuelle probable des flux de trésorerie auxquels l'assureur serait confronté pour honorer lui-même le contrat. Il ne s'agit pas de la valeur actuelle probable du contrat lors du transfert vers un autre assureur. Pour le calcul de *Best Estimate*, on prend des hypothèses et des données inhérentes à la compagnie.

L'évaluation doit incorporer toute information non biaisée disponible à la date de calcul au niveau des montants, dates et incertitudes liés aux flux des trésoreries permettant à l'assureur d'accomplir ses prestations. La mesure doit être brute de réassurance dans un premier temps et nette de réassurance dans un deuxième temps. Uniquement les flux correspondants aux contrats du périmètre doivent être pris en compte. Les provisions ne sont plus calculées sur une base prudente mais sur la base de la

meilleure estimation possible. Elles sont donc, en général, inférieures aux provisions calculées sur la base prudente des codes en vigueur en France, à savoir, le Code des Assurances, le Code de la Sécurité Sociale ou le Code de la Mutualité.

Dans nos sinistres, on va évaluer les provisions. Pour cela, il est nécessaire de connaître la composition des provisions.

1. Une première partie est composée par la charge dossier-dossier (*Incurred*), qui se décompose elle-même en deux parties :
 - les montants déjà réglés (*payments*)
 - la provision dossier/dossier (*reserves*)
2. La deuxième partie est composée des provisions IBNR *Incurred But Not Reported*. Ces provisions sont composées de :
 - les provisions IBNyR (*Incurred But Not Yet Reported*), qui correspond aux sinistres tardifs dont l'assureur n'a pas encore de connaissance
 - les provisions IBNeR (*Incurred But Not Enough Reported*) qui complète les provisions dossier/dossier pour les sinistres survenus insuffisamment provisionnés

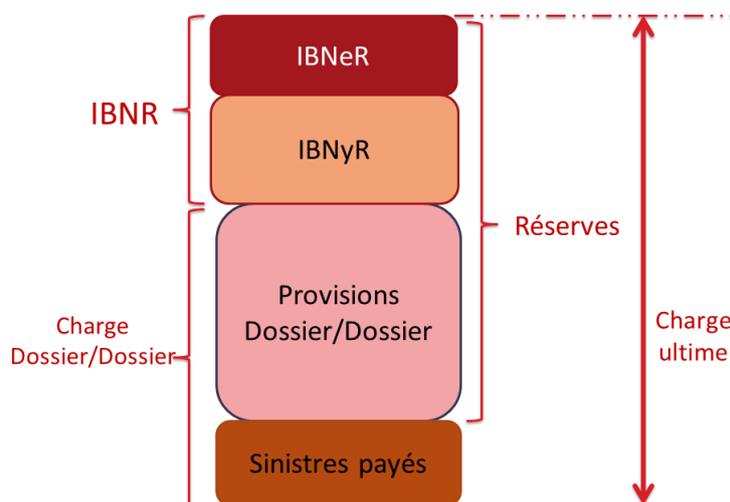


FIGURE 3.2 – Charge ultime et provisions d'un sinistre

Lorsque l'assureur n'a pas encore définitivement liquidé tous les sinistres d'une année de surveillance, on parle d'une charge ultime estimée.

La charge du dossier-dossier pour les sinistres dont l'assureur est déjà au courant (*incurred claims*) est constituée des règlements déjà effectués et de la provision dossier-dossier. La provision dossier-dossier est évaluée par les équipes de gestionnaires des sinistres. En fonction de chaque compagnie et des processus internes, la provision est souvent réévaluée :

- Au moment de l'ouverture du sinistre, la charge dossier-dossier n'est constituée que d'une provision pour sinistre à payer.
- Au fur et à mesure de la vie du sinistre, la provision est diminuée des règlements que l'assureur verse et elle est souvent réévaluée.
- A la clôture du sinistre, la provision devient nulle.

Normalement, la charge d'un sinistre reste constante au long du temps : d'un côté, les règlements augmentent progressivement jusqu'à atteindre la charge et d'un autre, les provisions (au début égales à la charge) diminuent progressivement jusqu'à devenir nulles.

Or, il existe des boni/mali de liquidation. Il s'agit des variations de la charge ultime (estimée) entre deux dates de vision. Ces changements sont dus entre autres raisons :

- à la réestimation des provisions dossier/dossier lors du passage au coût réel des indemnisations,
- à des nouvelles informations sur les sinistres permettant de mieux évaluer le montant du sinistre,
- à des écarts constatés entre les règlements d'indemnités effectués et les provisions qui avaient été passées

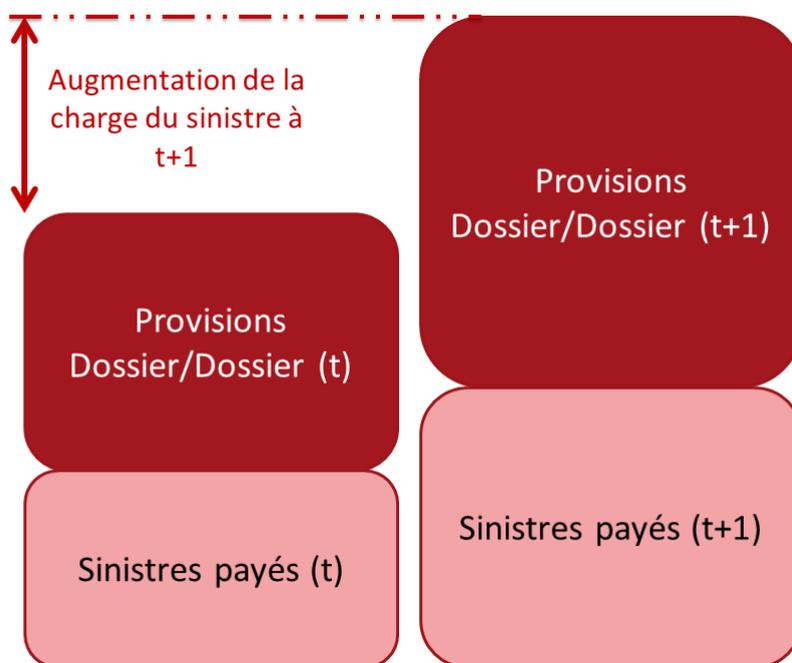


FIGURE 3.3 – Mali de liquidation pour charge dossier/dossier d'un sinistre

Les méthodes et les processus de constitution de la charge dossier/dossier sont très différents d'une compagnie à une autre :

- Les gestionnaires peuvent être censés d'approcher au plus près les charges ultimes des sinistres. Il s'agit d'une vision *Best Estimate* (on espère que la charge évaluée sera égale à la somme des règlements du sinistre). Dans ce cas-là, on rajoute à la fin une marge de prudence nécessaire en réglementation française pour la PSAP (Provision pour les sinistres à payer).
- Dans d'autres compagnies, les gestionnaires sont censés d'avoir des estimations plus prudentes lors de la constitution des provisions dossier/dossier.

Provision IBNeR

La provision IBNeR (*Incurring But Not Enough Reported*) correspond aux provisions pour sinistres déclarés mais insuffisamment provisionnés. Cette provision se calcule de façon agrégée et vient modifier la provision dossier/dossier. Elle reflète des changements valables sur tout le portefeuille : par exemple, des modification des taux techniques ou des modifications des tables de mortalité utilisées lors du calcul des postes de préjudice liquidés sous forme de rente, ou bien, un changement de processus lors de la gestion des sinistres. Dans certains cas, il est possible qu'un dossier déjà notifié à l'assureur ne possède pas de provision individualisée en raison des délais de gestion. Dans ce cas-là, la provision IBNeR vient prendre la place des provisions dossier/dossier.

Provisions IBNyR

La provision IBNyR (*Incurring But Not Yet Reported*) prend en compte les sinistres tardifs, ceux qui ont déjà eu lieu mais qui n'ont pas encore été déclarés à l'assureur. Il existe plusieurs méthodes pour le calcul de cette provision, la plus courante est la méthode dite de coût moyen. En effet, on applique un taux de sinistres tardifs issu des observations historiques, ensuite on multiplie ce nombre par le coût moyen ultime des sinistres de l'année de survenance à laquelle ils sont rattachés.

Cas des rentes versées dans les dommages corporels

Dans ce type de dommages, le versement d'une rente est particulier :

- Avant l'attribution de la rente, des provisions évaluant à la fois la rente potentielle et toutes les indemnités annexes sont constituées.
- Lors de l'attribution de la rente, un Capital Constitutif de Rente (CCR) est payé. Il correspond à la somme nécessaire à la date d'attribution de la rente pour payer la rente jusqu'à l'extinction de celle-ci.
- Dès l'attribution de la rente, une Provision Mathématique (PM) est constituée. Elle doit faire face aux arrérages restant à payer d'une rente. Cette provision mathématique est encadrée légalement : le taux de capitalisation et la table de mortalité à utiliser sont donnés par la loi.

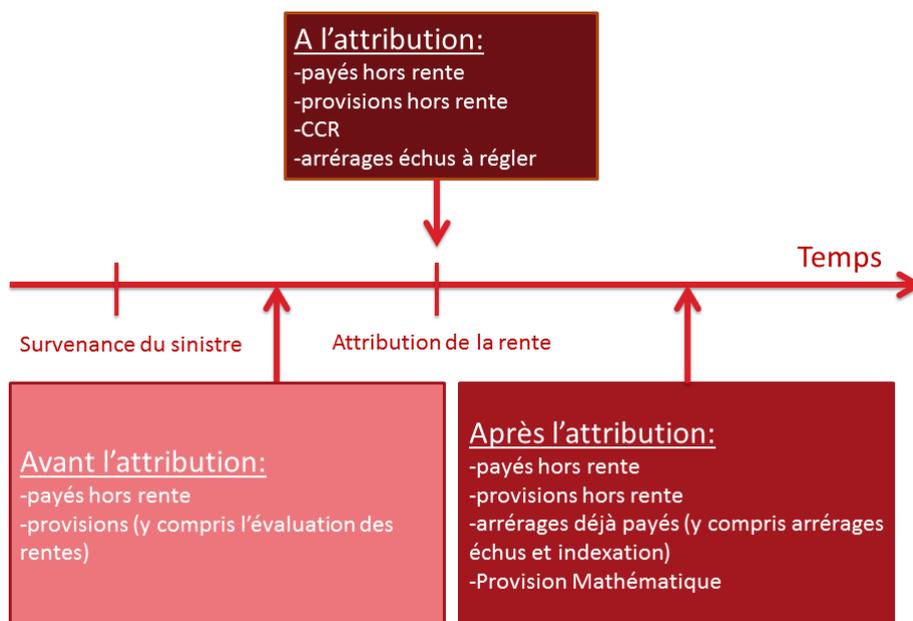


FIGURE 3.4 – Rentes versées en dommages corporels

L'inflation est prise en compte dans les rentes. Elles sont souvent viagères. L'assureur doit alors se protéger du risque de longévité et du risque d'inflation. [7]

3.3 Liquidation des sinistres attritionnels

Le portefeuille étudié prend en compte les sinistres corporels des catégories ministérielles C22 et C23. Le seuil de gravité utilisé est 150 000 € et il est appliqué au coût du sinistre. Notre seuil est

historique; cela veut dire qu'un sinistre ayant dépassé ce seuil au moins une fois est qualifié tout le temps comme étant grave.

Dans notre étude, les sinistres attritionnels sont alors ceux qui n'ont jamais atteint 150 000 €. Ce seuil est *a priori* défini. En effet, par des soucis de processus et des choix de la compagnie, on ne possède pas de base individualisée pour chaque dossier. Il est par conséquent nécessaire d'utiliser des méthodes usuelles de provisionnement. De même, on fait l'hypothèse que la réassurance historique n'interviendra jamais pour les sinistres attritionnels. Dans le chapitre 4, on modélisera les sinistres graves qui pourront faire jouer la réassurance historique.

Pour les sinistres attritionnels, nos visions sont déjà agrégées. On a des règlements, des évaluations de provisions (PSAP) et des coûts de l'ensemble des sinistres selon l'année de survenance et selon les visions de fin d'année depuis 2007 jusqu'en 2014.

On utilisera trois méthodes de liquidation : une méthode déterministe (Chain-Ladder) et deux méthodes stochastiques (modèle de Mack et méthode de *Bootstrap*). Le but ultime de notre étude étant la modélisation de la charge ultime du portefeuille, il est donc nécessaire d'obtenir des simulations de la charge ultime agrégée des sinistres attritionnels par année de survenance. Grâce à la méthode de *Bootstrap*, on peut obtenir ces informations : il nous faudra donc examiner la méthode de Chain-Ladder et le modèle de Mack qui seront ensuite utilisés comme base pour la méthode de *Bootstrap*. Pour la suite de notre étude, on introduit les notations suivantes :

- i l'année de survenance des sinistres, $i \in \{1, \dots, I\}$
- j l'année de développement, $j \in \{1, \dots, J\}$
- $(X_{i,j})$ les paiements incrémentaux
- $(C_{i,j})$ les paiements cumulés : $C_{i,j} = \sum_{k=1}^j X_{i,k}$
- R_i les provisions par année de survenance : $R_i = \sum_{j=J-i+1}^J X_{i,j}$, $i \in \{1, \dots, I\}$
- R le montant total des provisions pour une branche : $R = \sum_{i=1}^I R_i$

3.3.1 Méthode déterministe : Chain-Ladder (CL)

La méthode de Chain-Ladder est une méthode déterministe fréquemment utilisée car elle est très facile à mettre en œuvre. En effet, il n'y a pas de longs calculs à développer et son application est immédiate. Elle s'applique à des triangles de paiements cumulés ou des triangles de charges. On rappelle que les paiements sont agrégés, c'est-à-dire que l'on connaît uniquement la totalité des règlements correspondants aux sinistres corporels de moins de 150 000 € pour une année de survenance et une année de développement données. Les facteurs de développement individuel sont définis de la façon suivante :

$$f_{i,j} = \frac{C_{i,j+1}}{C_{i,j}} \quad \text{pour } i \in \{1, \dots, I\}, j \in \{1, \dots, J\}$$

On considère des coefficients de passage d'une année à l'autre communs pour les années de survenance et dont l'estimation est donnée par :

$$\hat{f}_j = \frac{\sum_{i=1}^{I-j+1} C_{i,j+1}}{\sum_{i=1}^{I-j+1} C_{i,j}}, \quad j \in \{1, \dots, J\}$$

Avec ces facteurs, on peut estimer :

- les charges ultimes par exercice de survenance : $\widehat{C}_{i,J} = C_{i,J-i} \times \prod_{j=J-i}^{J-1} \widehat{f}_j$
- les provisions par exercice de survenance $\widehat{R}_i = \widehat{C}_{i,J} - C_{i,J-i}$
- les provisions totales $\widehat{R} = \sum_{i=1}^I \widehat{R}_i$

La correspondance entre les coefficients de passage et les cadences de règlements des sinistres est définie comme suit : $cadence_j = \frac{1}{f_j \times \dots \times f_{j-1}}$.

Il est très facile d'appliquer cette méthode. Nonobstant, il faut s'assurer de la pertinence de son application. La méthode repose sur trois hypothèses :

1. Les années de survenance sont indépendantes entre elles.
2. Les années de développement sont les variables explicatives du comportement des sinistres futurs.
3. Les facteurs de développement sont indépendants de l'année d'origine i .

Pour valider ces hypothèses, on fait appel à certains tests graphiques :

L'alignement des couples $(C_{i,j}, C_{i,j+1})_{i \in \{1, \dots, I-j-1\}}$

Pour j fixé, on suppose l'existence d'un coefficient f_j tel que $C_{i,j+1} = f_{i,j} \times C_{i,j}$. Les couples $(C_{i,j}, C_{i,j+1})$ doivent être sensiblement alignés par une droite passant par l'origine. En appliquant cela à notre triangle des sinistres corporels non graves, on obtient :

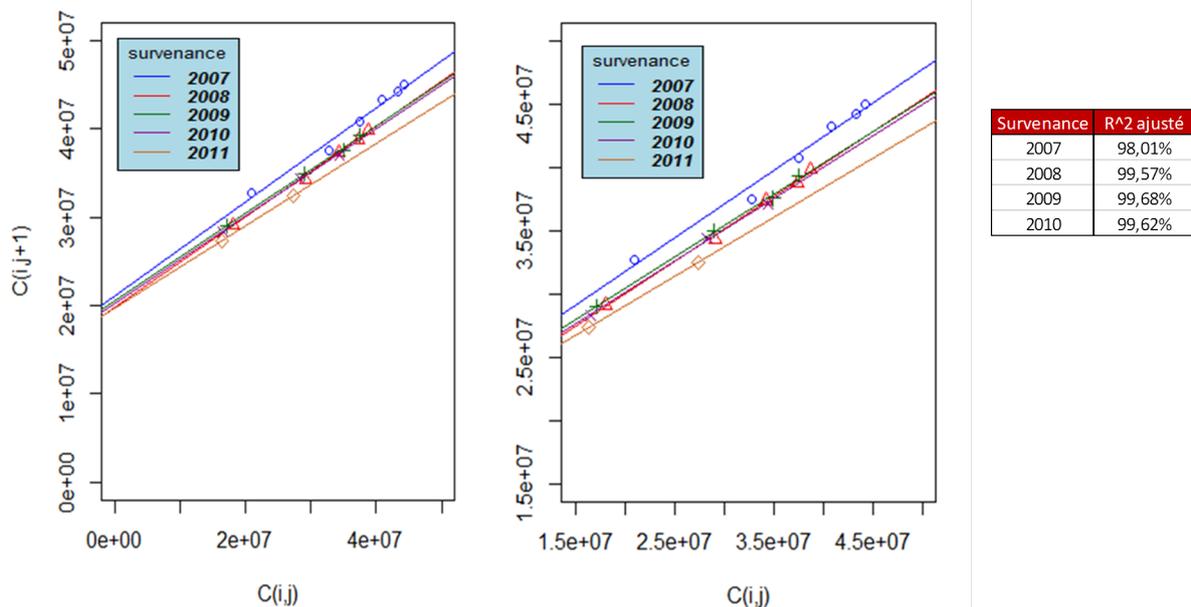


FIGURE 3.5 – Droites de régressions pour les couples $(C_{i,j}, C_{i,j+1})$ pour $i \in \{2007, \dots, 2011\}$

On peut dire que globalement les pentes des différentes régressions sont identiques. Le graphique à droite nous montre que les points sont bien alignés sur les droites. On constate que les erreurs ajustés de R^2 des régressions sont très proches de 1. Cela signifie que les régressions linéaires sont

plutôt correctes : les points étudiés sont bien alignés. Cependant, le graphique à gauche nous montre que les courbes ne passent pas par l'origine. Ce constat nous pousse à améliorer la méthode de Chain-Ladder. On pourrait éventuellement envisager des améliorations à la méthode comme par exemple, l'utilisation de la méthode London Chain. L'alignement des points nous montre cependant que la méthode Chain-Ladder est bien adaptée. On effectuera d'autres tests pour valider ce choix.

L'examen du triangle de développement

Le triangle de développement est défini par les facteurs de développement individuels $f_{i,j} = \frac{C_{i,j+1}}{C_{i,j}}$. L'hypothèse du modèle est vérifiée si, pour $j \in \{1, \dots, J\}$, les $f_{i,j}$ sont sensiblement constants. On obtient alors le tableau suivant avec les statistiques par année de développement.

Année de développement	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
f_j	5,49	1,65	1,18	1,08	1,04	1,02	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00
$E[f(i,j)]$	5,58	1,66	1,18	1,08	1,04	1,02	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,00
$Var[f(i,j)]$	0,303	0,002	0,001	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

FIGURE 3.6 – Tableau comparatif entre les facteurs CL et l'espérance des facteurs individuels

On constate que l'espérance des facteurs individuels est identique au facteur de développement donné par la méthode de Chain-Ladder. De même, on constate que la variance est presque nulle à partir de la deuxième année. Cela nous indique que, mise à part la première année de développement, le développement est homogène selon les distinctes années de survenance.

On compare la première année et la deuxième année de développement :

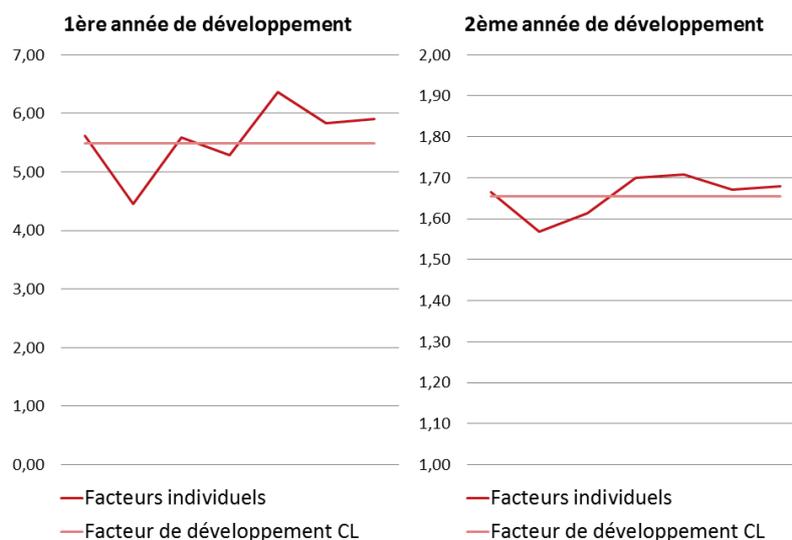


FIGURE 3.7 – Coefficients individuels de la première et deuxième année de développement

En effet, dans la première année, la volatilité des facteurs individuels est importante. Cependant, on observe qu'à partir de la deuxième année de développement la distance entre les coefficients individuels et le coefficient CL n'est pas importante.

Ceci nous permet de vérifier la pertinence de la méthode Chain-Ladder à notre étude sur les sinistres attritionnels. En appliquant cette méthode et en supposant que les sinistres tarderont 18 ans pour se développer à l'ultime (3 ans de plus pour arriver à l'ultime (*Tail Pattern*) pour les sinistres survenus en 1998), on obtient :

Survenance	Dernier règlement cumulé connu	Réserve de CL	Réserve de queue	Réserve Totale	Charge à l'ultime
1998	58 720 054	-	187 713	187 713	58 907 767
1999	62 823 842	113 956	201 196	315 152	63 138 994
2000	63 645 186	251 236	204 260	455 497	64 100 682
2001	62 487 260	362 566	200 914	563 481	63 050 741
2002	55 864 540	445 651	180 009	625 660	56 490 200
2003	50 699 020	537 876	163 791	701 667	51 400 687
2004	41 394 257	637 547	134 365	771 912	42 166 169
2005	38 527 505	934 542	126 150	1 060 692	39 588 197
2006	37 948 230	1 181 250	125 087	1 306 336	39 254 566
2007	37 074 670	1 643 426	123 772	1 767 198	38 841 868
2008	32 781 862	2 099 641	111 507	2 211 148	34 993 010
2009	32 364 769	3 125 935	113 454	3 239 390	35 604 159
2010	30 514 102	4 976 923	113 456	5 090 379	35 604 481
2011	26 727 773	7 166 390	108 351	7 274 741	34 002 514
2012	19 870 151	10 753 571	97 896	10 851 467	30 721 618
2013	10 446 100	17 057 010	87 920	17 144 930	27 591 029
2014	1 951 832	30 755 931	104 558	30 860 489	32 812 321
Total	663 841 152	82 043 454	2 384 398	84 427 852	748 269 003

FIGURE 3.8 – Résultats de la méthode Chain-Ladder

3.3.2 Méthodes stochastiques : Modèle de Mack

Il s'agit de la version stochastique de la méthode de Chain-Ladder. Le montant des provisions estimé est identique. Le modèle de Mack permet en plus d'estimer une erreur de prédiction des provisions.

Ce modèle non paramétrique repose sur trois hypothèses :

1. Les années de survenance sont indépendantes entre elles : $(C_{i,1}, \dots, C_{i,J})$ et $(C_{k,1}, \dots, C_{k,J})$ sont indépendantes pour $i \neq k$
2. Il existe f_j tel que $E(C_{i,j+1} | C_{i,1}, \dots, C_{i,j}) = f_j \times C_{i,j}$ pour $0 \leq i \leq I, 0 \leq j \leq J$
3. Il existe σ_j tel que $Var(C_{i,j+1} | C_{i,1}, \dots, C_{i,j}) = \sigma_j^2 \times C_{i,j}$ pour $0 \leq i \leq I, 0 \leq j \leq J$

Soit $D = \{C_{i,j} \text{ pour } i \leq I, j \leq J\}$ l'ensemble des variables observables. Sous les hypothèses énoncées précédemment, on a $E(C_{i,J} | D) = C_{i,J-i} \times f_{J-i} \times \dots \times f_{J-1}$.

Dans ce modèle, les facteurs (f_j) sont estimés par les facteurs de développement de Chain-Ladder (\hat{f}_j) qui sont sans biais et non corrélés.

Les (σ_j^2) sont estimés par :

$$\begin{cases} \hat{\sigma}_j^2 = \frac{1}{J-j-1} \sum_{i=1}^{J-j-1} C_{i,j} \times \left(\frac{C_{i,j+1}}{C_{i,j}} - \hat{f}_j \right)^2, 0 \leq j \leq J-2 \\ \hat{\sigma}_{J-1}^2 = \min \left(\frac{\hat{\sigma}_{J-2}^4}{\hat{\sigma}_{J-3}^2}, \min(\hat{\sigma}_{J-3}^2, \hat{\sigma}_{J-2}^2) \right) \end{cases}$$

Cet estimateur est également sans biais. Nous pouvons alors calculer l'écart quadratique moyen (*mean squared error of prediction*) qui mesure l'erreur de prédiction. Pour les provisions par année d'exercice, il est défini par $MSEP(\hat{R}_i) = E \left[\left(\hat{R}_i - R_i \right)^2 \mid D \right]$.

Sous les hypothèses énoncées et si $\hat{C}_{i,J-i} = C_{i,J-i}$, on peut l'estimer par :

$$\widehat{MSEP}(\hat{R}_i) = \hat{C}_{i,J}^2 \sum_{j=J-i}^{J-1} \frac{\hat{\sigma}_j^2}{\hat{f}_j} \left(\frac{1}{\hat{C}_{i,j}} + \frac{1}{\sum_{k=1}^{n-j} C_{i,k}} \right), \quad i \in \{1, \dots, I\}$$

L'estimation du MSEP de la provision totale est alors donnée par :

$$\widehat{MSEP}(\hat{R}) = \sum_{i=1}^I \left\{ \widehat{MSEP}(\hat{R}_i) + \hat{C}_{i,J} \left(\sum_{k=i+1}^I \hat{C}_{k,J} \right) \sum_{j=J-i}^{J-1} \frac{2\hat{\sigma}_j^2}{\hat{f}_j^2 \sum_{u=0}^{I-j} C_{u,j}} \right\}$$

On peut aussi donner l'erreur standard relative, c'est-à-dire l'écart-type rapporté au montant de charge ultime : $\frac{\sqrt{\widehat{MSEP}(\hat{R})}}{\hat{R}}$.

Appliqué à notre triangle de sinistres attritionnels, le modèle de Mack nous donne :

Survenance	Réserve de CL	Erreur de prédiction en %	Montant d'erreur sur la réserve	Réserve de queue	Réserve Totale	Montant d'erreur sur la réserve totale
1998	-	0,0%	-	187 713	187 713	87 362
1999	113 956	38,3%	53 036	201 196	315 152	146 673
2000	251 236	29,6%	90 512	204 260	455 497	164 099
2001	362 566	24,3%	107 082	200 914	563 481	166 421
2002	445 651	19,7%	106 749	180 009	625 660	149 868
2003	537 876	17,2%	112 231	163 791	701 667	146 407
2004	637 547	70,3%	544 420	134 365	771 912	659 158
2005	934 542	47,6%	540 889	126 150	1 060 692	613 902
2006	1 181 250	38,0%	545 506	125 087	1 306 336	603 272
2007	1 643 426	28,6%	570 271	123 772	1 767 198	613 219
2008	2 099 641	22,1%	563 400	111 507	2 211 148	593 321
2009	3 125 935	15,9%	605 366	113 454	3 239 390	627 337
2010	4 976 923	13,5%	817 662	113 456	5 090 379	836 302
2011	7 166 390	9,8%	852 308	108 351	7 274 741	865 194
2012	10 753 571	9,4%	1 226 628	97 896	10 851 467	1 237 794
2013	17 057 010	8,4%	1 746 152	87 920	17 144 930	1 755 152
2014	30 755 931	15,5%	5 782 695	104 558	30 860 489	5 802 354
Total	82 043 454	6,8%	6 789 593	2 384 398	84 427 852	6 986 917

FIGURE 3.9 – Résultats du modèle de Mack

3.3.3 Méthodes stochastiques : Méthode de Bootstrap

La méthode *Bootstrap* a été introduite par Efron en 1979 et est une puissante technique pour obtenir à partir d'un échantillon observé d'autres échantillons.

La méthode *Bootstrap* en provisionnement non vie est généralement associée à un modèle GLM (*Generalized Linear Model*) où la distribution du terme d'erreur peut-être log-normale, poisson surdispersée ou gamma. Le modèle de Poisson est plus intéressant que les autres puisque, d'après Renshaw et Verall en 1998, les réserves estimées par le modèle sur un triangle à incréments positifs et avec un lien logarithmique, sont identiques à celles données par la méthode de Chain-Ladder standard. Les calculs de réserves et erreur de prédiction deviennent beaucoup plus faciles. L'avantage de cette méthode, c'est qu'elle permet de produire la distribution complète des réserves.

La technique du *bootstrap* consiste à produire des pseudo-triangles de données par ré-échantillonnage avec remise de l'échantillon original. Dans le but de créer différents triangles aussi proches que possible de celui d'origine, les données utilisées pour le ré-échantillonnage doivent être analogues aux valeurs des variables observées, indépendantes et identiquement distribuées (iid). Puisque les paiements cumulés ne satisfont pas cette condition, (ils ne sont pas identiquement distribués car n'ayant pas la même moyenne), la solution consiste donc à appliquer la méthode de ré-échantillonnage au triangle des résidus (obtenus comme différence entre les paiements observés et estimés) qui est plus susceptible d'être cohérente avec l'hypothèse d'iid.

Notre triangle ayant des règlements incrémentaux positifs, on peut utiliser un modèle Poisson surdispersé. Dans ce cas-là, les incréments $Z_{i,k}$ variables réponses du modèle GLM, suivent une loi de Poisson surdispersée de paramètres ϕ et $\mu_{i,k}$ (c'est-à-dire $\frac{Z_{i,k}}{\phi} \sim Poisson\left(\frac{\mu_{i,k}}{\phi}\right)$) avec :

$$\begin{cases} E(Z_{i,k}) = \mu_{i,k} & \text{et} & Var(Z_{i,k}) = \phi \times \mu_{i,k} \\ \ln(\mu_{i,k}) = \mu + \alpha_i + \beta_i, \forall i \in \{1, \dots, I\}, k \in \{1, \dots, J\} & \text{avec} & \alpha_0 = \beta_0 = 0 \end{cases}$$

Comme dit précédemment, le *bootstrap* s'applique sur les résidus calculés. Pour les modèles GLM, on utilise souvent les résidus de Pearson définis par :

$$r_{i,k}^P = \frac{Z_{i,k} - \hat{Z}_{i,k}}{\sqrt{\hat{Z}_{i,k}}}, \forall i \in \{1, \dots, I\}, k \in \{1, \dots, J - i\}$$

où $\hat{Z}_{i,k}$ est l'estimation de $Z_{i,k}$ obtenue grâce au modèle.

Après ré-échantillonnage des $(r_{i,k}^P)_{i,k}$, on obtient un jeu de nouveaux échantillons de résidus, notés $(r_{i,k}^{P*})_{i,k}, i \in \{1, \dots, I\}, k \in \{1, \dots, J - i\}$. En inversant la formule des résidus de Pearson, on obtient des nouveaux incréments $Z_{i,k}^*$ et par conséquent de nouveaux triangles de liquidation.

La démarche de la méthode *Bootstrap* est la suivante :

- a) Il faut choisir une méthode qui nous permette d'obtenir des coefficients de développement. Comme on a déjà vérifié la validité de Chain-Ladder, on utilise ses coefficients de développement.
- b) On reconstruit un triangle supérieur ajusté grâce aux coefficients de développement choisis. A partir de la dernière diagonale connue (dernière vision existante), on décide de faire le processus inverse de liquidation usuelle. On oublie notre historique et on recalcule les données du triangle supérieur comme si celles-ci étaient inconnues.
- c) On calcule les résidus de Pearson. Ensuite grâce à ses résidus, on peut calculer le paramètre de la distribution de Poisson. Avec $n = \frac{I(J+1)}{2}$ le nombre de données et $p = I + J + 1$ le nombre de paramètres, l'estimateur est calculé de la façon suivante :

$$\hat{\phi} = \frac{1}{n - p} \sum_{i+k \leq I} r_{i,k}^2$$

- d) L'erreur standard du *bootstrap* ne tient pas en compte le nombre de paramètres du modèle. Ceci introduit un biais que l'on corrige en ajustant les résidus de Pearson. Les résidus ajustés sont alors :

$$r_{i,k}^{adj} = \sqrt{\frac{n}{n - p}} \times r_{i,k}^P, \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}, k \in \{1, \dots, J - i\}$$

En théorie, les résidus doivent vérifier les hypothèses suivantes :

- moyenne à 0 sans tendance observée.
- normalité des résidus.

- e) Enfin, on suit une nouvelle démarche qui sera itérée un nombre élevé de fois.

- 1.- On effectue le ré-échantillonnage des résidus de Pearson ajustés. On obtient alors un échantillon de résidus bootstrapés $(r_{i,j}^{adj*})_{i,k}$.
- 2.- En inversant la formule des résidus, on obtient les règlements incrémentsaux :

$$Z_{i,k}^* = \hat{Z}_{i,k} + r_{i,j}^{adj*} \times \sqrt{\hat{Z}_{i,k}}$$

- 3.- On somme les incréments pour obtenir une visions cumulée :

$$C_{i,k}^* = \sum_{j=0}^k Z_{i,j}^*$$

- 4.- On recalcule les facteurs de développement de la méthode choisie. En l'occurrence, on a choisi la méthode de Chain-Ladder.

- 5.- On réutilise le modèle pour d'une part obtenir le triangle inférieur et d'autre part estimer la provision globale.
- 6.- On stocke le résultat de la provision et on recommence l'itération.

A la fin, on dispose d'une distribution empirique pour chaque point du triangle inférieur, ainsi que pour les réserves totales [13]. Dans notre étude, on utilise cette méthode car elle nous permet d'avoir un nombre élevé de simulations que l'on pourra utiliser lors du calcul de BE pour le portefeuille.

Pour notre triangle des sinistres attritionnels, on obtient :

Survenance	Dernier règlement cumulé connu	Réserve du Bootstrap	Erreur de prédiction	Erreur de prédiction en %	Charge à l'ultime
1998	58 720 054	349 224	240 951	56,8%	59 069 278
1999	62 823 842	436 664	275 320	51,9%	63 260 507
2000	63 645 186	517 425	297 681	47,3%	64 162 611
2001	62 487 260	601 116	316 967	43,4%	63 088 376
2002	55 864 540	642 880	312 341	40,0%	56 507 419
2003	50 699 020	708 081	313 930	36,5%	51 407 101
2004	41 394 257	710 164	602 444	69,8%	42 104 421
2005	38 527 505	837 473	592 675	58,2%	39 364 978
2006	37 948 230	1 050 527	603 379	47,3%	38 998 756
2007	37 074 670	1 360 746	630 908	38,2%	38 435 416
2008	32 781 862	1 650 965	605 864	30,2%	34 432 826
2009	32 364 769	2 379 814	654 962	22,7%	34 744 583
2010	30 514 102	3 490 543	828 463	19,5%	34 004 645
2011	26 727 773	5 341 994	951 233	14,7%	32 069 767
2012	19 870 151	8 348 459	1 199 000	11,8%	28 218 609
2013	10 446 100	14 109 398	1 570 944	9,2%	24 555 497
2014	1 951 832	23 168 908	4 286 922	15,2%	25 120 740
Total	663 841 152	65 704 380	5 919 799	7,4%	729 545 532

FIGURE 3.10 – Résultats de la méthode de *bootstrap*

En comparant le *bootstrap* et le Chain-Ladder, on obtient :

Surv	RESERVES				Surv	ERREUR DE PREDICTION					
	Réserve du CL	Réserve du Bootstrap	Différence CL-Bootstrap	Différence en %		Erreur de prédiction Mack	Erreur de prédiction Mack en %	Erreur de prédiction Bootstrap	Erreur de prédiction en %	Différence Mack-Bootstrap	Différence en %
1998	361 583	349 224	- 12 359	-3,42%	1998	302 211	68,8%	240 951	56,8%	61 261	20,27%
1999	450 647	436 664	- 13 983	-3,10%	1999	376 651	68,8%	275 320	51,9%	101 331	26,90%
2000	535 613	517 425	- 18 188	-3,40%	2000	338 860	52,1%	297 681	47,3%	41 179	12,15%
2001	622 204	601 116	- 21 088	-3,39%	2001	281 784	37,3%	316 967	43,4%	- 35 183	-12,49%
2002	664 875	642 880	- 21 995	-3,31%	2002	222 053	27,5%	312 341	40,0%	- 90 288	-40,66%
2003	730 077	708 081	- 21 996	-3,01%	2003	196 812	22,2%	313 930	36,5%	- 117 118	-59,51%
2004	731 995	710 164	- 21 831	-2,98%	2004	837 159	94,1%	602 444	69,8%	234 715	28,04%
2005	851 994	837 473	- 14 521	-1,70%	2005	748 059	72,3%	592 675	58,2%	155 384	20,77%
2006	1 073 519	1 050 527	- 22 992	-2,14%	2006	695 366	53,3%	603 379	47,3%	91 987	13,23%
2007	1 381 031	1 360 746	- 20 285	-1,47%	2007	678 581	40,4%	630 908	38,2%	47 673	7,03%
2008	1 669 991	1 650 965	- 19 027	-1,14%	2008	632 972	31,2%	605 864	30,2%	27 108	4,28%
2009	2 373 959	2 379 814	5 855	0,25%	2009	646 841	22,4%	654 962	22,7%	- 8 120	-1,26%
2010	3 469 396	3 490 543	21 147	0,61%	2010	827 761	19,6%	828 463	19,5%	- 702	-0,08%
2011	5 278 728	5 341 994	63 266	1,20%	2011	830 742	13,0%	951 233	14,7%	- 120 491	-14,50%
2012	8 299 582	8 348 459	48 877	0,59%	2012	1 145 217	11,4%	1 199 000	11,8%	- 53 783	-4,70%
2013	14 050 213	14 109 398	59 184	0,42%	2013	1 562 405	9,2%	1 570 944	9,2%	- 8 539	-0,55%
2014	23 165 374	23 168 908	3 534	0,02%	2014	4 442 998	15,8%	4 286 922	15,2%	156 077	3,51%
Total	65 710 781	65 704 380	- 6 400	-0,01%	Total	5 905 596	7,4%	5 919 799	7,4%	- 14 203	-0,24%

FIGURE 3.11 – Tableau comparatif entre CL et la méthode de *bootstrap*

On constate que la différence pour la réserve totale et pour l’erreur de prédiction entre la méthode de Chain-Ladder et le bootstrap est presque nulle. C’est cela le plus important. En effet, en s’assurant de la pertinence de la méthode de Chain-Ladder, on peut continuer notre étude en utilisant cette méthode comme base pour ensuite créer une nouvelle méthode de *bootstrap*. La principale raison de choisir cette méthode stochastique, c’est la création des simulations de la charge ultime. On peut obtenir les 2 500 simulations de la charge ultime par année de survenance qui nous permettront de consolider les sinistres attritionnels avec les sinistres graves dans le chapitre 5.

Il est important de remarquer que notre étude sur les sinistres attritionnels est limitée : on n’a pas prolongé notre étude en utilisant d’autres méthodes de liquidation. On a donc décidé d’effectuer la liquidation des sinistres attritionnels avec les méthodes préconisées au sein des compagnies d’assurances. L’enjeu principal des dommages corporels se trouvant dans les sinistres graves, on a fait le choix de restreindre notre étude sur les sinistres attritionnels pour pouvoir se focaliser sur la modélisation des sinistres graves.

Chapitre 4

Modélisation des sinistres graves

Les méthodologies usuelles de provisionnement utilisent des valeurs agrégées par année de survenance et par année de développement. On fait l'hypothèse que les variables agrégées sont homogènes. Ces méthodes sont assez satisfaisantes lorsqu'on les applique à des branches courtes. Cependant, pour les branches longues, on trouve une erreur d'estimation importante. De plus, ces méthodes ne prennent pas en compte l'information disponible à la date de la simulation (charge et règlements du dossier/dossier). De même afin de pouvoir appliquer la réassurance historique de la compagnie, il est nécessaire d'avoir une charge à l'ultime individuelle (dossier par dossier). C'est pour ces raisons que l'on propose dans ce chapitre une méthode alternative pour évaluer le coût à l'ultime des sinistres graves.

Notre historique couvre les années de survenance de 1990 à 2014. On possède 2 770 sinistres graves (sinistres qui ont au moins une fois dépassé le seuil de 150 000 €). On a l'évolution suivante du nombre de sinistres corporels graves :

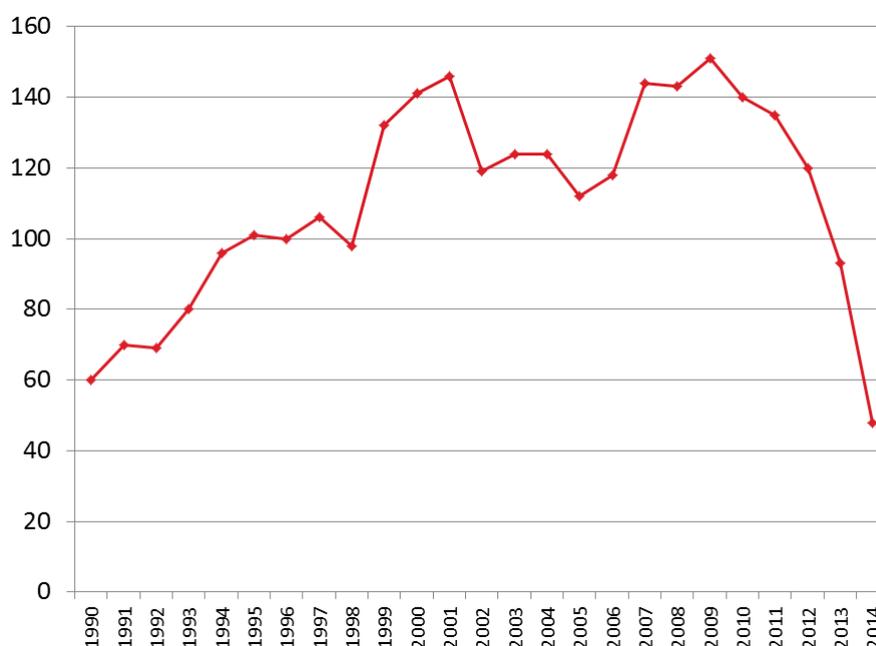


FIGURE 4.1 – Nombre de sinistres graves par année de survenance

On constate que le nombre de sinistres graves a augmenté depuis 1990. La chute de la courbe pour les 3 dernières années peut être expliquée par les sinistres tardifs qui n’ont pas encore été reportés à la compagnie. Il s’agit des années non consolidées.

4.1 Limite des méthodes usuelles de liquidation

On introduit les notations suivantes :

- k l’index des sinistres
- i l’année de survenance
- j l’année de développement
- $C_{i,j}^k$ la charge dossier/dossier ou le montant des paiements du sinistre k , survenu l’année i et vu j années après la survenance
- $C_{i,j}$ la charge dossier/dossier ou le montant total des paiements de l’ensemble des sinistres survenus l’année i et vu j années après la survenance
- $F_{i,j}^k$ le facteur de développement du sinistre k relatif à la survenance i et le développement j
- $F_{i,j}$ le facteur de développement relatif à la survenance i et le développement j
- f_j le facteur de développement j

Comme introduction, on va utiliser des méthodes classiques de provisionnement pour le triangle agrégé des charges des sinistres graves. On fait appel aux couples $(C_{i,j}, C_{i,j+1})_{i \in \{1, \dots, I-j-1\}}$.

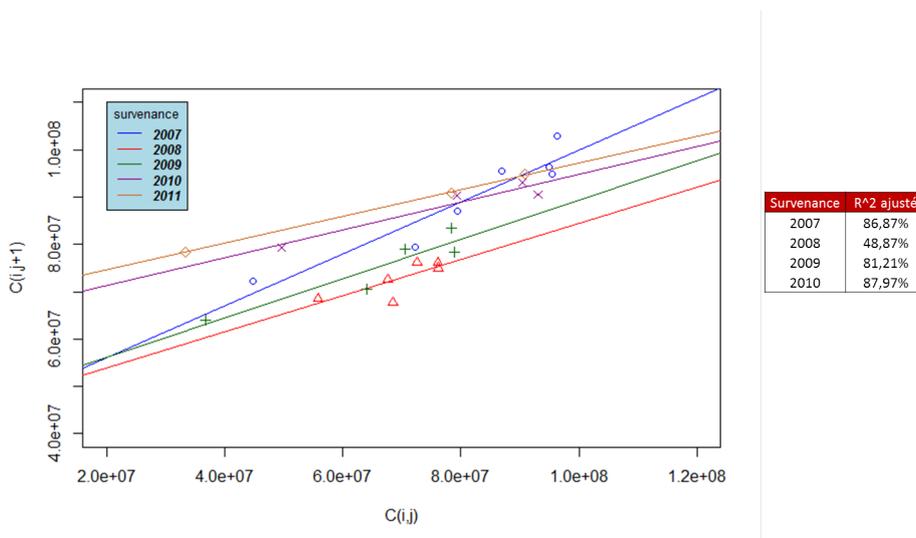


FIGURE 4.2 – Droites de régressions pour les couples $(C_{i,j}, C_{i,j+1})$ pour $i \in \{2007, \dots, 2011\}$ des sinistres graves

On constate que les pentes des régressions ne sont pas identiques, on constate des points d’intersection entre les différentes régressions. On constate également que les erreurs ajustés de R^2 des régressions ne sont pas proches de 1. Cela signifie que les régressions linéaires sont plutôt incorrectes : les points étudiés de chaque année de survenance ne sont pas alignés. Ce test graphique nous permet de rejeter les hypothèses d’application de la méthode de Chain-Ladder au triangle agrégé des sinistres graves.

Les graphiques ci-dessous représentent les facteurs de développement donnés par la méthode de Chain-Ladder en fonction de leur année de développement (méthode appliquée aux charges agrégées des sinistres).

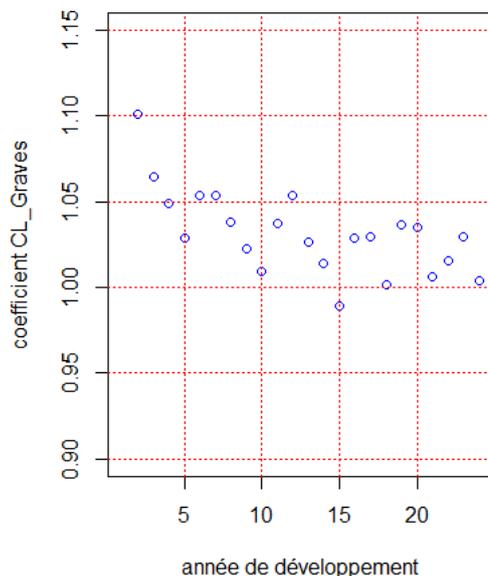


FIGURE 4.3 – Facteurs de développement Chain-Ladder pour les sinistres graves

On constate que les coefficients de développement ne sont pas monotones. Ils ne tendent pas vers 1 lorsque l'année de survenance augmente. Cela signifie que la charge totale des sinistres graves peut augmenter, ou bien, peut diminuer au fil des années de développements. Dans ce cas de figure, les hypothèses d'utilisation de la méthode de Chain-Ladder ne sont pas vérifiées. Ce graphique montre clairement les limites des méthodes classiques de provisionnement (pour des données agrégées) pour ce type de sinistres.

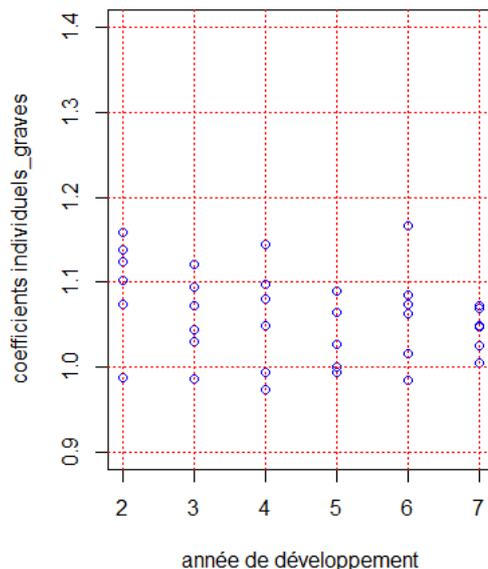


FIGURE 4.4 – Représentation des facteurs de développement annuel

Les années de développement de 2 à 7 sont représentées dans le schéma précédent. On constate que les coefficients de développement annuel sont très volatiles. En effet, il y a une grande dispersion autour de 1. Il existe même des coefficients qui sont inférieurs à 1. Cela veut dire que pour une année de survenance fixe, on a des cas dans lesquels la charge annuelle diminue d’une année à l’autre. Cela est principalement dû aux minorations des charges dossier par dossier.

Au vu de ces représentations graphiques, on montre la limite des méthodes usuelles de provisionnement sur des sinistres graves. On ne peut pas utiliser une approche habituelle pour évaluer la charge à l’ultime de ces sinistres. Ces éléments nous permettent d’envisager de nouvelles méthodes de provisionnement des sinistres graves.

4.2 Nouvelle approche

On propose donc d’utiliser une approche ligne par ligne au lieu d’agréger nos données. On étudie alors les coefficients de développement individuels : $F_{i,j}^k = \frac{C_{i,j+1}^k}{C_{i,j}^k}$.

Les graphiques ci-dessous représentent les facteurs de développement individuels $F_{i,j}^k$ représentés, dans un premier temps, en fonction des délais de développement et dans un second temps, en fonction des montants.

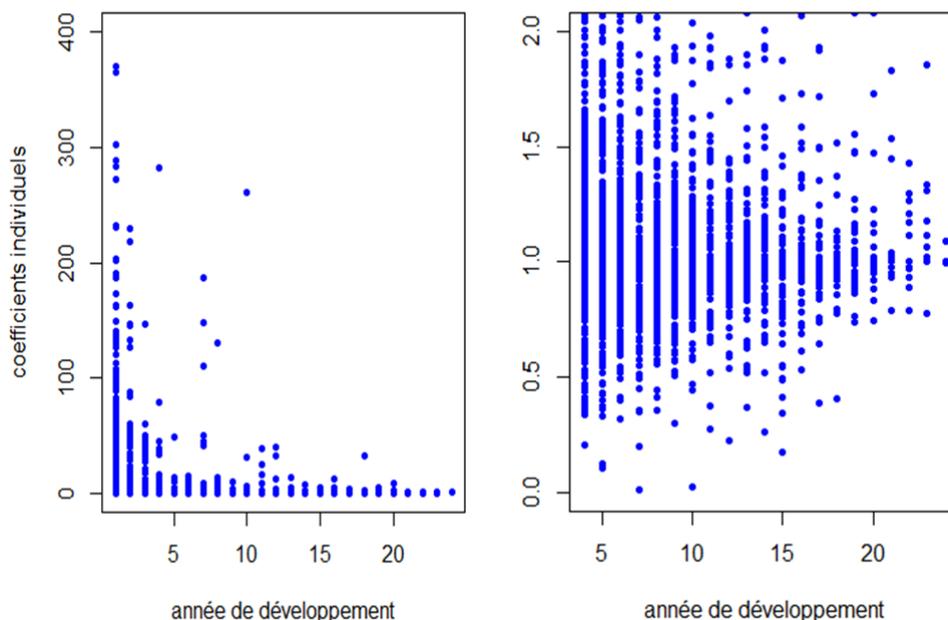


FIGURE 4.5 – Représentation des facteurs de développement individuel par année de développement

Le graphique à gauche représente les coefficients à une échelle de 0 à 400. A droite, on réalise un focus sur les coefficients entre 0 et 2. On constate que dans les premières années de développement, les coefficients de développement individuel sont gigantesques. Cela s'explique par les augmentations des dossier au vu des premières évaluations. On pourrait dire qu'à partir d'une certaine année de développement les coefficients de développement sont stabilisés. Cependant, cela est faux. Dans le graphique de droite, on peut voir qu'il y a une très grande volatilité même pour les années de développement les plus grandes. On remarque également que les facteurs de développement individuels semblent avoir une dispersion et une valeur moyenne indépendantes du délai de développement. Ces graphiques confirment bien que le délai de développement n'est pas une variable explicative des facteurs de développement individuels.

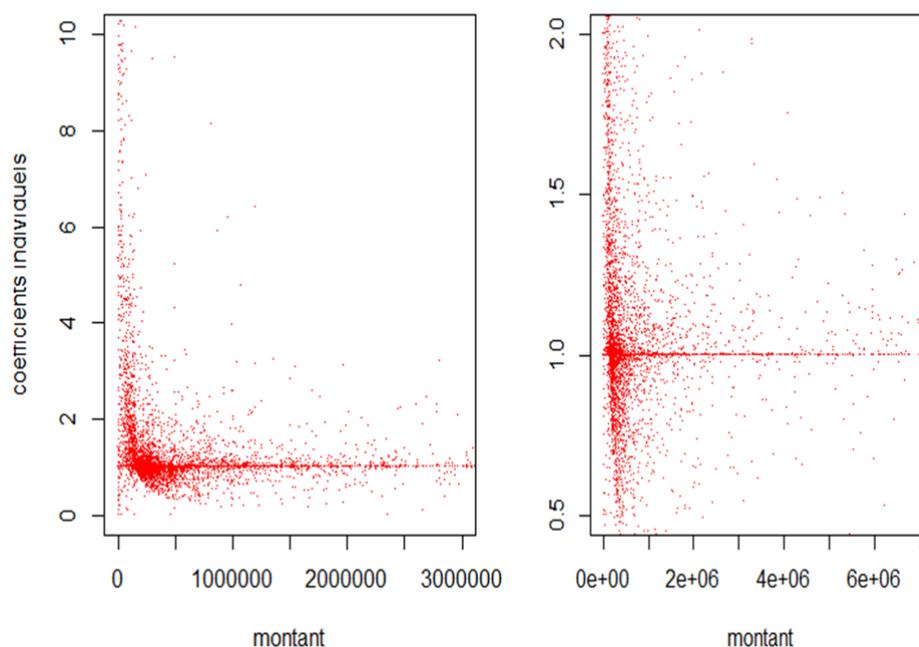


FIGURE 4.6 – Facteurs de développement individuel en fonction du montant

Ces graphiques représentent la distribution des coefficients individuels en fonction du montant du sinistre. A droite on réalise un focus sur les coefficients allant de 0,5 à 2. On observe que les facteurs de développement relatifs aux montants faibles sont plus dispersés que les montants relatifs aux montants élevés. Il y a une très forte dispersion entre les montants de 0 à 0,5 M€. Ceci car les montants d'ouverture des sinistres sont inférieurs à 0,5 M€ et qu'après la première évaluation, les montants sont fortement modifiés, soit à la hausse, soit à la baisse. On constate également qu'il y a une forte concentration de la distribution autour de 1 pour tout montant. Cela indique que souvent, les sinistres ne subissent pas de modifications tout au long de leur cycle de vie.

Pour justifier que les années de développement ne sont pas une variable explicative des coefficients individuels, on utilise des GLM afin de connaître quelle variable permet d'expliquer le mieux les coefficients. En prenant les logarithmes népériens des montants, on réalise d'abord un GLM avec trois variables explicatives (l'année de survenance, l'année de développement et le \ln du montant) et ensuite uniquement avec deux variables explicatives (l'année de développement et le \ln du montant). On suppose que la fonction de lien est la loi Gaussienne. On obtient les résultats suivants :

```

Call:
glm(formula = coeff ~ surv + dvpt + ln_montant, family = gaussian)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
 -6836    -499    -171     347  1170258

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -141835.83  74507.49  -1.904  0.0570 .
surv          75.65    37.07   2.041  0.0413 *
dvpt          75.91    37.33   2.033  0.0420 *
ln_montant   -811.84    66.35 -12.236 <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

FIGURE 4.7 – GLM1 : les coefficients comme variable à expliciter ; la survénance, l'année de dvpt et le ln du montant comme variables explicatives

```

Call:
glm(formula = coeff ~ dvpt + ln_montant, family = gaussian)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
 -7010    -489    -183     326  1170557

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  10219.02   828.98  12.327 <2e-16 ***
dvpt          4.17    12.57  0.332  0.74
ln_montant   -807.74    66.32 -12.179 <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

FIGURE 4.8 – GLM2 : les coefficients comme variable à expliciter, l'année de dvpt et le ln du montant comme variables explicatives

Il apparaît dans les deux GLM que le ln des montants explique mieux les coefficients que l'année de développement. Cela peut s'expliquer par le fait que contrairement à celle des sinistres attritionnels, l'évolution du coût des sinistres graves dépend d'un ensemble d'évènements aléatoires (décision de justice, évolution inattendue de l'état de santé de la victime) qui peuvent survenir à tout moment tout au long de la vie du sinistre et qui modifient les évaluations de la charge de chaque dossier. Ces graphiques mettent en évidence le fait que le montant est un bien meilleur discriminant des facteurs de développement que le délai de développement.

En utilisant des facteurs de développement individuels (dépendant uniquement du montant de la charge), on pourra procéder à évaluer la charge ultime de chaque sinistre. La méthode de liquidation peut être schématisée de la façon suivante :

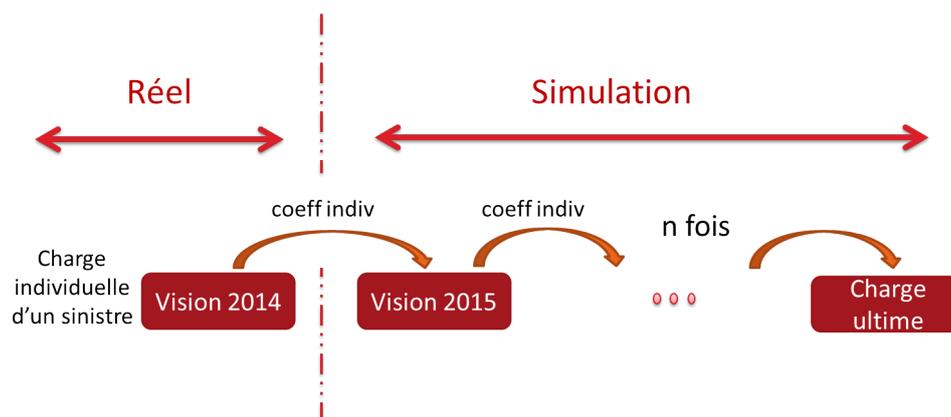


FIGURE 4.9 – Schéma de liquidation d'un sinistre

Pour la dernière vision disponible (vision 2014), on choisit un coefficient individuel en fonction de la charge du sinistre en 2014. Ensuite, on applique ce coefficient à la charge du sinistre en 2014 et on obtient la charge du sinistre en vision 2015. Pour cette nouvelle charge, on choisit un nouveau coefficient individuel en fonction du montant de la charge. On réitère ce processus n fois jusqu'à l'obtention de la charge ultime du sinistre. Ainsi en sortie, on obtient la charge à l'ultime d'un sinistre. On effectue le processus de liquidation 2 500 fois afin d'obtenir 2 500 états du monde possibles de la charge à l'ultime pour chaque sinistre. Il s'agit d'une approche stochastique nous permettant de connaître la distribution de la charge ultime pour un sinistre, par année de survenance ou pour la totalité des sinistres graves. Ce sont ces simulations de la charge ultimes des sinistres graves qui nous permettront d'effectuer la consolidation des sinistres attritionnels et les sinistres graves dans le chapitre 5.

On peut affirmer que le principe de cheminement proposé est identique à celui des méthodes de liquidation pour des triangles agrégés (Chain-Ladder, par exemple). Or, la méthode proposée a pour nouveauté le choix d'un coefficient de développement individuel. Pour la suite, on se concentrera sur la façon de choisir ce coefficient.

4.3 Classes des coefficients et choix des coefficients

On décide donc de créer un modèle prenant en compte uniquement les montants comme variable explicative des coefficients de développement. On laisse de côté l'année de survenance et l'année de développement comme des variables explicatives.

En conservant les mêmes notations que précédemment, l'hypothèse du modèle peut s'écrire de la façon suivante : il existe deux fonctions g et f telles que pour tout sinistre k , de survenance i et de délai de développement j , on a :

- $\forall i, j, k, \quad E(F_{i,j}^k) = f(C_{i,j}^k)$
- $\forall i, j, k, \quad Var(F_{i,j}^k) = g(C_{i,j}^k)$

Pour l'estimation du modèle, on a décidé de segmenter les montants afin de créer de classes de montants homogènes. Cette approche revient à considérer qu'il existe $L + 1$ bornes $(D_l)_{1 \leq l \leq L+1}$ (avec $D_1 = 0$ et $D_{L+1} = +\infty$) et des paramètres $(\mu_l)_{1 \leq l \leq L}$ et $(\sigma_l)_{1 \leq l \leq L}$ telles que : $\forall i, j, k$ si $F_{i,j}^k \in [D_{l-1}; D_l[$, alors $E(F_{i,j}^k) = \mu_l$ et $Var(F_{i,j}^k) = \sigma_l^2$. La séparation en différentes classes est justifiable car les coefficients de développement individuel n'ont pas le même comportement en fonction de leur montant : pour les montants inférieurs il est plus probable que l'évolution soit importante (et donc les coefficients soient plus élevés), par contre, pour les montants élevés, il est plus probable que les coefficients de développement se stabilisent autour de 1. On décide *a priori* de choisir 20 classes de

coût. On estime que ce numéro de classes est assez important pour effectuer une segmentation fine de notre distribution des coefficients.

Il existe un enjeu sur la définition des bornes et par conséquent, sur la définition des classes. On a décidé de garder le même nombre de coefficients au sein d'une classe afin de pouvoir calculer la moyenne et l'écart-type sur des classes de même taille. Ainsi, les bornes sont définies comme certains quantiles de la distribution des coefficients en fonction des montants.

Avec les quantiles à 5 %, on décide de séparer notre distribution de la façon suivante :

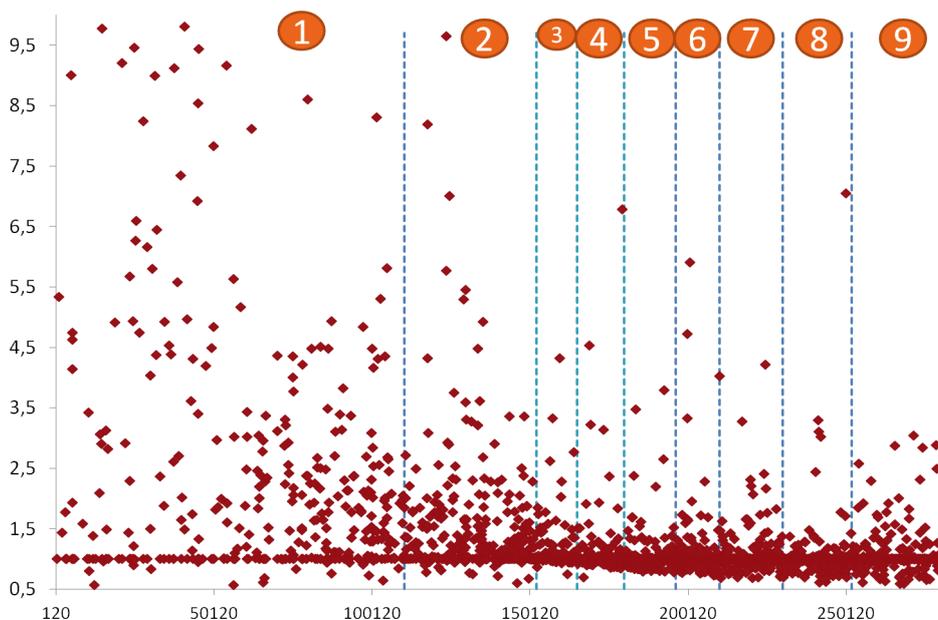


FIGURE 4.10 – Premières neuf classes des coefficients individuels

Par ailleurs, il est important de faire des choix sur les coefficients qui appartiendront à chaque classe. On effectuera pour la suite trois jeux différents de coefficients. Pour chaque jeu de coefficients, on montrera les classes des coefficients créées et on justifiera la distinction des trois jeux de coefficients.

4.3.1 1er jeu : Tous les coefficients

Au total, avec notre historique de 2 770 sinistres et avec les 7 visions disponibles, on possède 16 226 coefficients. Tout d'abord, on regarde le nombre de coefficients supérieurs à 1, égaux à 1 et inférieurs à 1. Notons chaque couple montant-coefficient de la façon suivante : (M, f) .

Inf à 1	= 1	Sup à 1	Total
1 856	11 266	3 104	16 226
11 %	69 %	20 %	100 %

En choisissant les bornes des classes comme étant des quantiles à 5 %, on obtient les dispersions suivantes au sein des classes (chaque classe est construite de façon à avoir environ 810 couples (M^k, F^k)) :

CLASSES	Borne inférieure	Borne supérieure	Moyenne du montant	Moyenne du coeff	Var du coeff
Classe1	750 €	80 623 €	28 717 €	1 509	1 718 660 797
Classe2	80 623 €	150 172 €	121 110 €	1,69	2,40
Classe3	150 172 €	158 771 €	154 297 €	1,08	2,07
Classe4	158 771 €	169 598 €	164 314 €	1,03	0,05
Classe5	169 598 €	181 990 €	175 370 €	1,02	0,07
Classe6	181 990 €	193 039 €	187 437 €	1,02	0,04
Classe7	193 039 €	206 138 €	199 358 €	1,03	0,07
Classe8	206 138 €	221 783 €	213 159 €	1,02	0,04
Classe9	221 783 €	240 459 €	230 646 €	1,01	0,02
Classe10	240 459 €	261 386 €	250 281 €	1,03	0,08
Classe11	261 386 €	289 374 €	276 404 €	1,02	0,05
Classe12	289 374 €	318 123 €	303 107 €	1,04	0,33
Classe13	318 123 €	362 413 €	339 428 €	1,02	0,20
Classe14	362 413 €	414 934 €	385 567 €	1,00	0,03
Classe15	414 934 €	490 911 €	451 366 €	0,99	0,03
Classe16	490 911 €	605 342 €	540 092 €	1,04	0,31
Classe17	605 342 €	795 522 €	694 704 €	1,01	0,05
Classe18	795 522 €	1 107 434 €	941 192 €	1,05	0,20
Classe19	1 107 434 €	1 975 933 €	1 453 373 €	1,04	0,10
Classe20	1 975 933 €	11 056 722 €	3 857 688 €	1,03	0,05

FIGURE 4.11 – Classes des coefficients individuels

Pour la première classe, on constate une moyenne du coefficient très élevée ainsi qu’une volatilité importante. Ceci est expliqué par le fait que pour passer d’un sinistre de moins de 1 000 € à un sinistre millionnaire, le coefficient est évalué autour de 1 000. A part cette classe, on observe que la volatilité autour du coefficient est petite. De même, plus le sinistre est grand, plus les coefficients sont stables autour de 1. Ceci est normal car, en augmentant le montant du sinistre, on converge vers la charge ultime du sinistre.

4.3.2 2ème jeu : Mis en écart des sinistres clos

Les classes du premier jeu ont été réalisées avec tout l’historique disponible. Cependant, on écarte certains sinistres : ceux qui ont été déclarés graves mais qui sont clos pour toute la période des visions disponibles. Autrement dit, on écarte les sinistres graves qui ont été clos avant 2007 et qui n’ont jamais été réouverts. En effet, on fait l’hypothèse que les sinistres encore ouverts de notre portefeuille ne suivront pas la même évolution que les sinistres anciennement clos. On possède dans ce cas-là 2031 sinistres et 11 067 coefficients individuels.

Avec cette séparation, on obtient le jeu suivant de coefficients :

Inf à 1	= 1	Sup à 1	Total
1 850	6 125	3 092	11 067
17 %	55 %	28 %	100 %

Par rapport au premier jeu de coefficients, on constate qu’en éliminant les sinistres clos, on élimine une grande quantité de coefficients égaux à 1. Les sinistres clos n’évoluant plus, leurs coefficients tout au long des différentes visions est égal à 1.

On a les dispersions suivantes par classe (chaque classe est construite de façon à avoir environ 554 couples (M^k, F^k)) :

CLASSES	Borne inférieure	Borne supérieure	Moyenne du montant	Moyenne du coeff	Var du coeff
Classe1	750 €	41 964 €	13 013 €	2 210	2 518 949 017
Classe2	41 964 €	113 937 €	82 212 €	2,18	4,28
Classe3	113 937 €	151 361 €	136 044 €	1,56	2,43
Classe4	151 361 €	165 027 €	157 381 €	1,14	3,07
Classe5	165 027 €	182 500 €	172 719 €	1,06	0,13
Classe6	182 500 €	198 858 €	190 751 €	1,03	0,05
Classe7	198 858 €	215 764 €	206 195 €	1,04	0,13
Classe8	215 764 €	240 128 €	227 379 €	1,03	0,06
Classe9	240 128 €	263 914 €	250 845 €	1,04	0,12
Classe10	263 914 €	294 990 €	279 501 €	1,05	0,36
Classe11	294 990 €	329 096 €	310 385 €	1,04	0,19
Classe12	329 096 €	366 657 €	349 369 €	1,02	0,28
Classe13	366 657 €	418 225 €	390 773 €	1,00	0,04
Classe14	418 225 €	486 312 €	450 902 €	0,98	0,04
Classe15	486 312 €	582 471 €	528 033 €	1,06	0,43
Classe16	582 471 €	744 814 €	656 972 €	1,01	0,08
Classe17	744 814 €	987 097 €	856 846 €	1,06	0,23
Classe18	987 097 €	1 440 244 €	1 170 018 €	1,06	0,17
Classe19	1 440 244 €	2 456 297 €	1 883 459 €	1,03	0,07
Classe20	2 456 297 €	11 056 722 €	4 575 645 €	1,03	0,06

FIGURE 4.12 – Classes des coefficients individuels (sinistres clos exclus)

Ce jeu de coefficients nous semble plus pertinent que le premier car le premier possède trop de coefficients égaux à 1, ce qui entraînerait une sous-estimation des projections à l'ultime.

4.3.3 3ème jeu : Mis en écart des coefficients individuels issus des deux premières années de développement

On réalise maintenant une nouvelle séparation. En effet, on constate que les coefficients correspondants aux deux premières années de développement possèdent une très forte volatilité. D'où l'enjeu de savoir si on les prend en compte pour créer les classes.

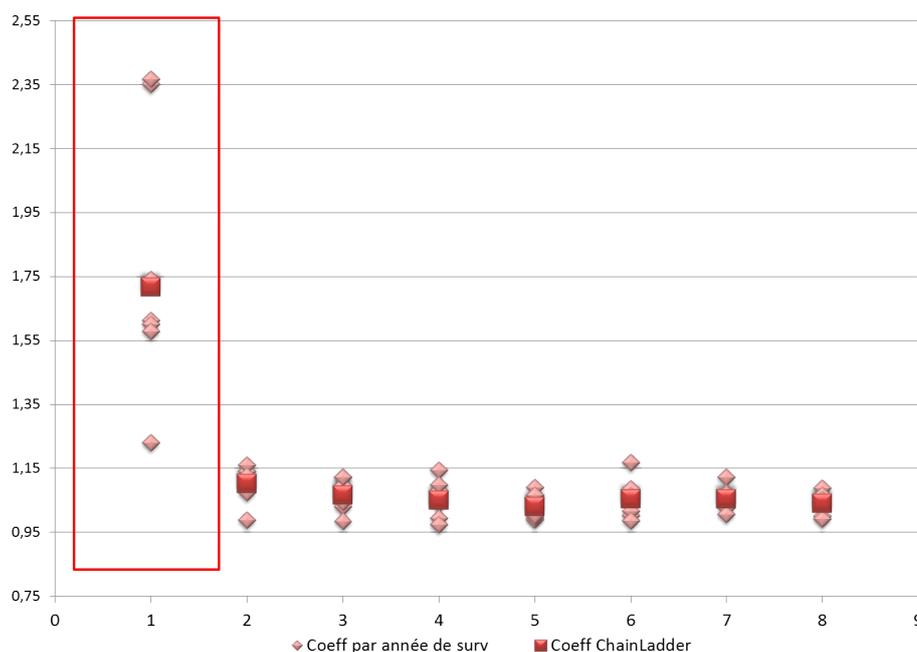


FIGURE 4.13 – Volatilité constatée pendant la première année de développement

En regardant les coefficients de développement par année de survenance, on constate une forte volatilité la première année de développement. D'un point de vue pratique, on sait que souvent, les sinistres sont ouverts à un montant défini par les critères de la compagnie et qu'après deux ans au maximum, le montant du sinistre varie fortement à cause des séquelles de l'accident : les provisions subissent des modifications. Il s'agit de la phase de consolidation du dossier. De ce fait, la variance des coefficients individuels est très importante pendant les deux premières années de développement. Il nous semble donc pertinent d'effectuer un nouveau jeu de coefficients qui contiendra uniquement les coefficients correspondants aux années de développement supérieures à deux.

Les coefficients à partir de la troisième année de développement forment les classes suivantes (chaque classe est construite de façon à avoir environ 481 couples (M^k, F^k)) :

CLASSES	Borne inférieure	Borne supérieure	Moyenne du montant	Moyenne du coeff	Var du coeff
Classe1	120 €	110 361 €	59 925 €	13	15 957
Classe2	110 361 €	152 183 €	136 866 €	1,36	1,10
Classe3	152 183 €	164 995 €	157 636 €	1,15	3,62
Classe4	164 995 €	179 905 €	171 346 €	1,05	0,13
Classe5	179 905 €	196 167 €	188 024 €	1,03	0,05
Classe6	196 167 €	210 128 €	202 522 €	1,04	0,13
Classe7	210 128 €	230 181 €	220 397 €	1,03	0,06
Classe8	230 181 €	251 934 €	241 989 €	1,03	0,12
Classe9	251 934 €	281 364 €	265 832 €	1,04	0,07
Classe10	281 364 €	308 164 €	294 701 €	1,04	0,39
Classe11	308 164 €	348 297 €	326 735 €	1,03	0,32
Classe12	348 297 €	383 067 €	363 167 €	0,99	0,02
Classe13	383 067 €	435 457 €	407 993 €	1,00	0,05
Classe14	435 457 €	506 810 €	471 061 €	1,00	0,05
Classe15	506 810 €	616 245 €	556 677 €	1,02	0,07
Classe16	616 245 €	790 975 €	693 779 €	1,01	0,06
Classe17	790 975 €	1 006 321 €	896 584 €	1,07	0,28
Classe18	1 006 321 €	1 521 994 €	1 232 230 €	1,05	0,09
Classe19	1 521 994 €	2 530 354 €	1 947 335 €	1,03	0,07
Classe20	2 530 354 €	11 056 722 €	4 682 966 €	1,03	0,05

FIGURE 4.14 – Classes des coefficients individuels (sinistres clos exclus et coefficients à partir de la 3ème année de développement)

L'impact de prendre uniquement les coefficients générés à partir de la troisième année de développement est facilement observable : pour la première classe, le coefficient moyen passe de 2210 à 13 et la variance diminue significativement. Avec le deuxième jeu de coefficients (et leur classes respectives), on pourra modéliser les sinistres dont la survenance est récente (2013 et 2014) et avec le troisième jeu de coefficients, on pourra modéliser les sinistres dont la survenance est inférieure ou égale à 2012.

4.4 Segmentation par année de survenance

Au moment de la connaissance d'un sinistre corporel, on ouvre souvent les sinistres corporels à un montant défini par les critères de la compagnie. La première évolution de la charge de ce montant est souvent très volatile : soit on estime que le sinistre a été surestimé et dans ce cas-là, on garde une vision prudente et on ne fait pas varier la charge, soit on estime que les séquelles sont très importantes et alors on augmente la charge du sinistre énormément. Ce premier changement a généralement lieu dans les deux premières années de développement du sinistre. Par conséquent, on constate l'existence d'une forte volatilité au sein des coefficients individuels correspondants aux deux premières années de développement. Ce phénomène est également montré dans la figure 4.13.

De cela, on décide de séparer nos sinistres en deux groupes selon l'année de survenance. Pour les sinistres dont les années de survenance sont inférieures ou égales à 2012, on suppose que ce premier changement a déjà eu lieu et que leur développement a moins de volatilité. Pour cela, on choisit le jeu de coefficients correspondant aux années de survenance supérieures à deux. Par contre, pour les sinistres de 2013 et 2014, on décide d'utiliser le deuxième jeu de coefficients. En effet, on garde la totalité des coefficients pour ces années de survenance afin de répliquer les premières évaluations très volatiles.

4.5 Méthode du choix du coefficient de développement individuel

Une fois réalisées nos classes de coefficients, on procède à créer un nouveau coefficient de développement individuel pour simuler l'évolution d'un sinistre d'une année à une autre. Le principe est de regarder la dernière charge connue de chaque sinistre, de lui associer un coefficient de développement individuel et de faire évoluer la charge. On répète ce processus jusqu'au moment où la charge du sinistre est la charge ultime. Ensuite, on effectue 2 500 projections à l'ultime pour chaque sinistre. En utilisant la méthode dite de Monte-Carlo, on peut obtenir l'espérance et la variance de la charge ultime de chaque sinistre, ainsi que de la charge ultime totale de l'ensemble des sinistres graves.

Il faut remarquer que l'on simule uniquement les sinistres ouverts à la dernière date, c'est-à-dire les sinistres dont la PSAP de 2014 est non nulle. En effet, les sinistres clos en 2014 ne génèrent plus de réserves (on suppose qu'ils ne seront pas réouverts). On n'a donc plus besoin de les faire évoluer.

Pour choisir le coefficient de développement individuel, on a développé deux méthodes différentes : une méthode prospective (appelée log-normale) et une méthode rétrospective (appelée échantillonnage).

Méthode par simulation d'une loi log-normale

On réalise l'hypothèse que les coefficients correspondants à chaque classe suivent une loi log-normale. On décide de prendre la moyenne et l'écart-type de chaque classe de montant comme les paramètres de la loi log-normale. Ainsi, si la charge d'un sinistre appartient à une classe, on génère un coefficient de développement individuel issu d'une loi log-normale :

Soit $M^k \in [D_l; D_{l+1}[$, c'est-à-dire $M^k \in$ classe l , alors $F^k \sim \text{lognormale}(\mu_l, \sigma_l^2)$.

L'avantage principale de cette méthode est le fait que les nouveaux coefficients sont complètement nouveaux par rapport aux coefficients historiques. L'hypothèse sous-jacente de la loi de distribution des coefficients est le principal inconvénient.

Méthode par échantillonnage

Dans cette méthode, on réalise l'hypothèse que les coefficients au sein de chaque classe sont indépendants et identiquement distribués (iid). Pour choisir un coefficient de développement individuel nécessaire pour faire évoluer la charge d'une année à une autre, on réalise un tirage au sort parmi les coefficients qui se trouvent dans la classe. C'est-à-dire que pour un montant appartenant à une classe, on choisit au hasard un coefficient historique qui est à l'intérieur de la classe. Cette méthode ne requiert pas d'hypothèse sous-jacente. Cependant, les coefficients choisis pour le développement de chaque sinistre sont forcément des coefficients qui ont déjà existé. On dirait que l'évolution des sinistres sera « par année de développement identique au passé ». D'où l'importance de posséder un grand nombre de coefficients dans chaque classe afin d'obtenir des simulations non biaisées.

4.5.1 Comparaison des deux méthodes

On essaie d'abord de mesurer les différences entre les deux méthodes de cheminement à l'ultime développées. On réalise des jeux de simulations sous les mêmes hypothèses : mêmes sinistres simulés, mêmes années de développement nécessaires pour arriver à l'ultime. La seule différence est la façon dont on choisit les coefficients de développement individuels. D'une part, on réalise l'hypothèse que les coefficients sont répartis selon une loi lognormale par classe, d'autre part, on choisit au hasard un coefficient existant dans la classe. Les résultats sont les suivants :

Survenance	Moyenne annuelle lognormale	Moyenne annuelle échant	écart	%
1998	61 441 632	65 874 807	4 433 175	6,73%
1999	79 320 607	90 943 003	11 622 396	12,78%
2000	94 315 138	110 068 802	15 753 664	14,31%
2001	110 931 527	127 923 583	16 992 056	13,28%
2002	93 711 320	109 754 670	16 043 350	14,62%
2003	85 800 731	110 309 518	24 508 787	22,22%
2004	104 068 461	125 612 851	21 544 390	17,15%
2005	111 572 583	137 013 260	25 440 676	18,57%
2006	101 609 759	142 880 660	41 270 901	28,88%
2007	127 962 197	173 082 279	45 120 082	26,07%
2008	103 839 092	152 550 905	48 711 814	31,93%
2009	108 024 883	158 987 238	50 962 355	32,05%
2010	133 041 439	185 142 168	52 100 729	28,14%
2011	134 838 267	196 309 246	61 470 979	31,31%
2012	128 745 391	188 235 368	59 489 977	31,60%

FIGURE 4.15 – Tableau comparatif des deux méthodes de cheminement à l’ultime : Lognormale Vs Echantillonnage

On constate que la méthode lognormale sous-évalue toujours les simulations par rapport à la méthode d’échantillonnage. Les écarts deviennent de plus en plus importants selon l’année de survenance.

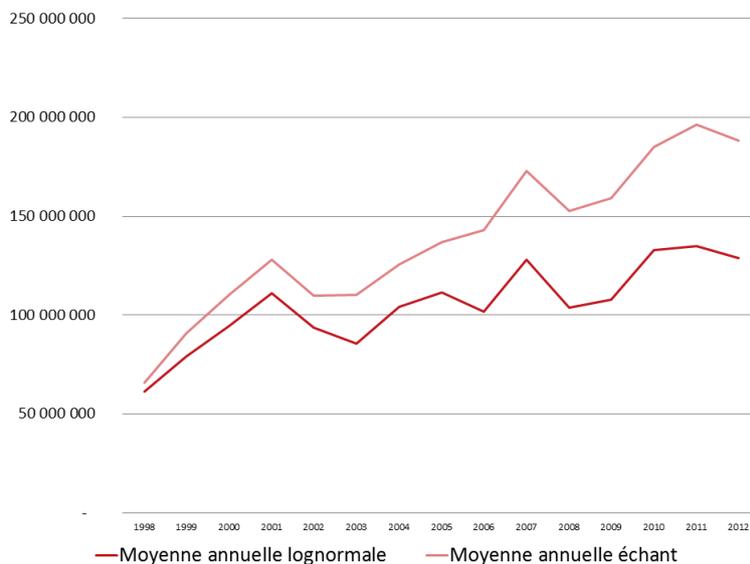


FIGURE 4.16 – Moyenne annuelle simulée selon les deux méthodes développées

Pour mieux montrer que les évaluations de la charge à l’ultime produites par la méthode lognormale sont toujours inférieures à celles de la méthode par échantillonnage, on effectue la comparaison

par quantiles de la distribution de la charge totale simulée.

Quantiles	LogNormale	Echantillonnage	Ecart
5%	1 388 533 977	1 705 024 422	19%
10%	1 403 401 034	1 740 119 612	19%
15%	1 412 215 256	1 764 651 821	20%
20%	1 420 556 026	1 789 279 354	21%
25%	1 427 589 394	1 808 627 137	21%
30%	1 434 954 838	1 832 760 841	22%
35%	1 439 596 252	1 855 126 361	22%
40%	1 444 519 438	1 883 491 135	23%
45%	1 450 403 939	1 913 822 552	24%
50%	1 455 557 937	1 949 370 994	25%
55%	1 460 725 720	1 998 183 914	27%
60%	1 465 663 479	2 049 131 136	28%
65%	1 471 813 598	2 117 700 290	30%
70%	1 477 880 712	2 167 871 000	32%
75%	1 484 693 119	2 224 594 109	33%
80%	1 492 149 540	2 297 334 744	35%
85%	1 501 029 539	2 383 851 756	37%
90%	1 514 000 071	2 542 185 386	40%
95%	1 530 016 730	2 862 824 569	47%
99%	1 569 247 512	3 519 779 180	55%

FIGURE 4.17 – Quantiles de la distribution des charges totales agrégées simulées

On constate que pour tous les quantiles, la charge totale de la méthode lognormale est inférieure à celle de la méthode par échantillonnage. En réalisant une étude sur les simulations individuelles, on constate que pour les sinistres de montant faible (sinistres entre 150 000 et 1 million), on a des grands écarts entre les deux méthodes. La méthode « lognormale » sous-estime largement ce type de sinistres. Les écarts entre la simulation des deux méthodes peuvent aller jusqu'à 90 %. Cela nous indique que l'hypothèse de la loi sous-jacente de répartition n'est pas vérifiée. Si on garde la répartition de lognormale, on n'arrive pas à retrouver les énormes évolutions correspondantes au passage des premières évaluations vers les évaluations postérieures. De ce fait, on écarte l'utilisation de la méthode dite « lognormale ». De même, du nombre de coefficients au sein de chaque classe des coefficients (≈ 500) et du nombre élevé des simulations (2500), on peut confirmer le non-biais de la méthode d'échantillonnage. On décide de garder pour la suite la méthode d'échantillonnage.

4.6 Critère d'arrêt des itérations

Suit la question de savoir à quel moment on arrête le processus de cheminement à l'ultime. Etant donné les caractéristiques des dommages corporels et la forte volatilité des coefficients, on ne peut pas espérer la convergence de la charge vers une charge ultime. En effet, dans toutes les classes existent des coefficients assez élevés qui font passer d'une classe à une autre. Avec ce comportement, on attend souvent que la charge des sinistres devienne très importante au bout de plusieurs itérations. C'est pour cela que l'on impose un nombre n défini des années de développement. Dans un premier temps, on fixe nos simulations à 15 années de développement pour ensuite mesurer la sensibilité des projections vis-à-vis du nombre d'itérations.

4.6.1 Sensibilité aux années nécessaires pour arriver à l'ultime

On mesure les écarts créés dans les simulations en fonction des années de développement nécessaires pour arriver à l'ultime. On rappelle que d'une part, si on fait évoluer les sinistres jusqu'au moment où leur montant ne change plus, alors on atteint toujours les montants les plus élevés connus.

C'est-à-dire que les sinistres passent d'une classe à une autre à cause des grands coefficients qui se trouvent dans chaque classe. D'autre part, comme il existe beaucoup de coefficients égaux à 1 à l'intérieur de chaque classe, il est possible que le montant d'un sinistre n'évolue pas pendant un nombre limité d'itérations mais qu'à la suivante, il continue d'évoluer. De ces faits, on décide de choisir un nombre n de développements restants pour atteindre la charge ultime. Notre scénario de base est un développement de 15 ans (car on possède un historique des sinistres dont la survenance commence en 1990, on peut supposer qu'en 2015 ces sinistres sont à l'ultime).

On effectue les simulations avec les mêmes paramètres : mêmes sinistres simulés, mêmes coefficients utilisés. On modifie uniquement le nombre d'années de développement nécessaires pour atteindre la charge ultime. On regarde la sensibilité pour des années de développement allant de 15 à 25.

On obtient :

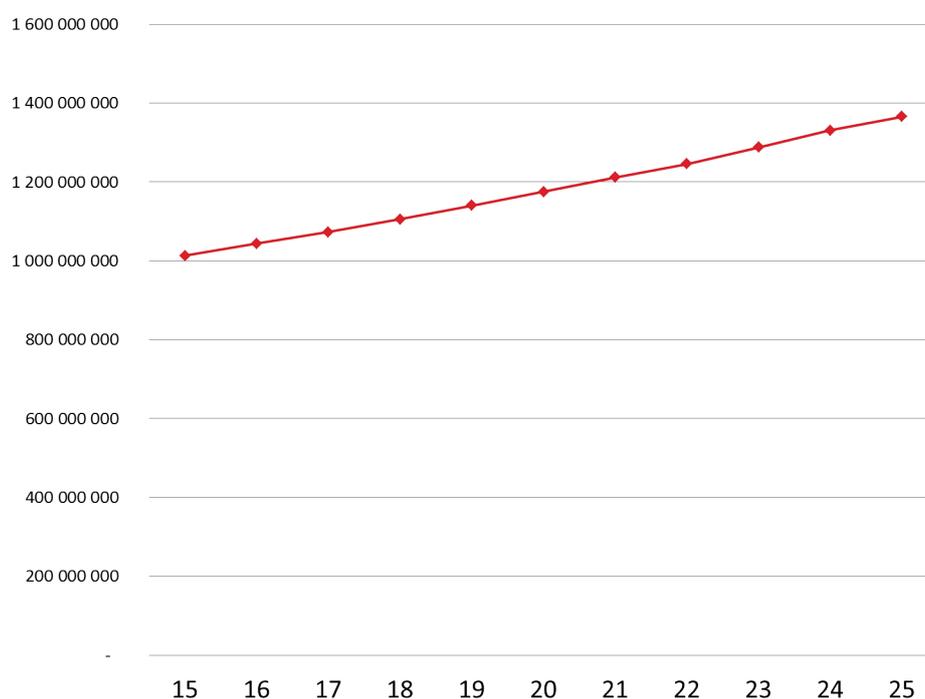


FIGURE 4.18 – Charge totale ultime simulée en fonction des années de développement nécessaires pour atteindre la charge ultime

On décide de laisser au minimum une durée égale à 15 ans de développement. Ceci est un reflet des caractéristiques des sinistres graves. On cite par exemple le cas où la victime est un mineur. Dans ce cas-là, la compagnie est obligée d'attendre au moins le passage en majorité légale pour pouvoir clôturer le dossier.

On voit ensuite que la charge totale annuelle simulée est croissante en fonction du nombre des années de développement. Pour l'augmentation d'une année de développement, on obtient environ une augmentation de 3 % de la charge totale annuelle. Ceci montre que l'on ne peut pas déterminer un critère pour arrêter les itérations. Les montants des sinistres continuent à augmenter si on augmente les itérations. De cela, on conclut que le paramètre de développement maximal est un paramètre de contrôle vis-à-vis des simulations. C'est-à-dire que l'on peut modifier nos simulations et la charge issue de celles-ci en modifiant le nombre des développements.

4.7 Sinistres tardifs

Pour pouvoir modéliser le portefeuille entier, il nous reste à modéliser les sinistres qui n'ont pas encore été déclarés à l'assureur. Pour cela, il faut d'abord déterminer un nombre de sinistres tardifs (pour les années de survenance 2013 et 2014) et leur associer un montant d'ouverture aléatoire. Ensuite, on effectue la même démarche de cheminement à l'ultime. On garde tous les coefficients historiques car ces sinistres n'ont pas encore dépassé les premières évaluations. En pratique, on ne possède pas le détail du nombre de sinistres tardifs par année de survenance. On décide donc de regarder le nombre de sinistres graves des dernières années et de compléter notre portefeuille avec un nombre défini de nouveaux sinistres. On utilise la méthode de Chain-Ladder pour liquider le triangle des nombres de sinistres graves. On obtient alors 39 sinistres qui n'ont pas encore été déclarés. On décide donc de simuler 39 sinistres tardifs.

Par rapport au montant d'ouverture on décide d'ajuster (*fitter*) une loi de distribution sur les montants d'ouverture connus des sinistres. Pour cela, on effectue des tests d'adaptation des différentes distributions connues sur nos données (Cf. annexe 2). On trouve que la distribution la mieux adaptée à notre échantillon est une loi lognormale. On décide en plus de tronquer notre distribution à droite et à gauche. En effet, on sait que sur les derniers exercices comptables, la compagnie suit des processus tels qu'on oblige à ouvrir les sinistres à un montant déterminé. En l'occurrence, il nous semble pertinent de ne pas prendre en compte les montants d'ouverture simulés inférieurs à 10 000. De l'autre côté, il nous semble également pertinent d'éliminer tous les montants d'ouverture supérieurs à 6 M€. En effet, on décompte 15 sinistres sur tout notre historique qui ont été ouverts à un montant supérieur. Avec ces deux choix, on obtient le Q-Q plots comparant nos simulations contre les montants d'ouverture réels.

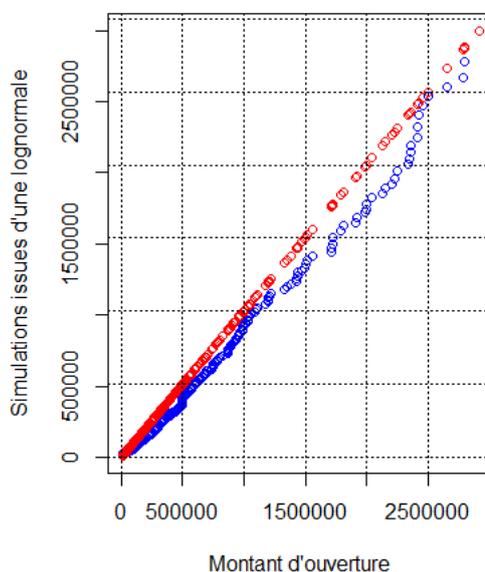


FIGURE 4.19 – Q-Q plot : montants d'ouverture simulés contre montants d'ouverture historiques

Il faut remarquer que dans la pratique, on prend la charge de la première année comme le montant d'ouverture. En effet, notre vision de chaque sinistre est effectuée uniquement à la fin de chaque année et on ne connaît pas l'évolution d'un sinistre dans une année comptable.

On constate que la distribution des montants simulés est semblable à celle des montants historiques. On garde cette loi lognormale pour simuler de nouveaux montants d'ouverture. On fait ensuite évoluer les sinistres tardifs assimilés à un montant d'ouverture issu de la distribution choisie.

4.8 Impact des différents choix et justifications

Pour la simulation de la charge ultime des sinistres, on a dû effectuer certains choix sur les paramètres de la méthode de simulation. Dans cette partie, on va mesurer l'impact des différents choix sur les simulations.

4.8.1 Impact des deux jeux de coefficients

Comme décrit dans la partie 4.3, on décide de réaliser trois jeux de coefficients de développement individuel. On s'intéresse à la comparaison entre le deuxième et le troisième jeu (le premier jeu étant écarté). Dans le deuxième jeu, on garde les coefficients à partir de la deuxième année de développement et dans le troisième jeu, on garde tous les coefficients individuels historiques. On sait que le jeu avec tous les coefficients est plus dispersé. On mesure maintenant l'impact des deux jeux de coefficients sur un périmètre défini. On choisit les sinistres à simuler dont les années de survenance sont entre 1998 et 2012. On simule leur charge ultime avec la méthode d'échantillonnage et avec 15 ans de développement. On effectue une première étude avec le jeu de coefficients complet et on réalise en second temps l'étude avec le jeu de coefficients à partir de la troisième année de développement.

surv	moyenne		écart-type	
	jeu complet	coeff à partir de 3ème A	jeu complet	coeff à partir de 3ème A
1998	27 511 987	27 511 987	0	0
1999	24 900 520	24 785 126	2 394 275	2 064 028
2000	41 515 980	40 567 271	4 958 802	4 127 362
2001	51 295 625	50 807 528	8 300 141	7 438 473
2002	54 415 141	52 551 606	8 422 022	8 014 128
2003	36 097 752	35 693 167	7 595 315	7 068 514
2004	57 427 392	55 787 662	9 688 136	8 573 078
2005	55 913 227	54 125 696	12 507 203	12 178 192
2006	82 434 952	73 361 362	15 572 273	14 738 114
2007	80 950 795	75 935 172	16 997 041	15 725 235
2008	73 407 787	65 150 973	13 155 800	10 129 447
2009	92 347 629	83 275 778	19 172 762	15 376 113
2010	131 496 132	113 793 119	23 199 884	17 249 570
2011	147 573 500	127 640 784	25 178 365	20 661 342
2012	155 312 807	129 218 191	30 467 712	23 360 834

FIGURE 4.20 – Moyenne et Ecart-Type de la charge simulée par année de survenance, selon les deux différents jeux de coefficients

On constate que l'espérance est toujours supérieure dans le cas du jeu de coefficients complet. L'écart-type est également toujours supérieur dans le cas du jeu entier des coefficients. Cela nous

indique que l'utilisation de tous les coefficients entraîne une simulation plus élevée et une dispersion supérieure. C'est pour cela, que l'on décide d'utiliser un jeu différent en fonction des années de survenance : pour les survenances antérieures à 2012, on utilise le jeu avec les coefficients à partir de la troisième année de développement. Pour les survenances récentes (2013 et 2014), on utilise le jeu des coefficients complet.

4.8.2 Sinistres survenus entre 2007 et 2010 : vision à 2014 vs vision simulée à 2014

Ce test nous permet de voir les écarts entre la simulation à une date intermédiaire et les montants réels des sinistres. On prendra le montant d'ouverture des sinistres allant de 2007 à 2010 et on les développera 7, 6, 5 et 4 ans respectivement afin de créer une vision simulée correspondante à la vision en 2014. On comparera ces simulations avec l'évaluation réelle de 2014. On restreint les sinistres comparés parce que l'on ne connaît pas les montants d'ouverture des sinistres antérieurs à 2007. De même, les sinistres postérieurs à 2010 risquent d'être plus volatiles du fait de leur année de survenance récente.

Surv	Historique	Moyenne des simulations	Ecart entre les deux
2007	57 393 906	50 028 776	13%
2008	49 057 991	62 808 012	-28%
2009	60 750 864	63 043 704	-4%
2010	80 397 878	80 636 347	0%

FIGURE 4.21 – Ecart entre la charge annuelle par année de survenance simulée et la charge historique (en vision 2014)

On constate que les écarts ne sont pas importants en pourcentage (sauf pour l'année de survenance 2008). Notamment pour les années 2009 et 2010, on retrouve des simulations très proches de la vision historique réelle. Si on réalise un focus sur les simulations individuelles de l'année de survenance 2008, on constate qu'il y a au moins 5 sinistres dont le montant d'ouverture est millionnaire et dont le montant en 2014 devient inférieur à 1 million. Ceci peut expliquer pourquoi les simulations surévaluent cette année de survenance.

A part cette année de survenance, on est globalement proche de la vision en 2014. Ceci valide la méthode et les critères choisis pour le cheminement à l'ultime.

4.8.3 Sinistres tardifs

Pour choisir le nombre de sinistres pas encore déclarés, on a effectué une liquidation du triangle du nombre des sinistres graves. On simule 39 sinistres. En utilisant une loi lognormale comme distribution des montants d'ouverture, on génère 39 nouveaux montants d'ouverture. Ensuite, on les développe jusqu'à l'ultime. Comme il s'agit de sinistres récents, on décide de choisir le jeu de coefficients comprenant les deux premières années de développement. De ce fait, les simulations issues de ces sinistres sont très volatiles. De même, on constate que la projection à l'ultime dépend fortement du montant d'ouverture fictif. De ce facteur, on se demande si l'approche individuelle est adaptée pour estimer une provision IBNYR de façon dossier/dossier, ou s'il faudrait revenir à une vision globale du portefeuille pour agréger la provision pour les sinistres tardifs. Afin de pouvoir appliquer la couverture de réassurance historique, on décide de garder quand même une vision individualisée des provisions IBYNR. On a besoin de la charge ultime de chaque sinistre tardifs pour pouvoir en déduire

un montant net de réassurance. C'est ce montant qui fait partie de la charge nette de réassurance totale.

C'est une évidence que les sinistres tardifs sont la plus grande source d'incertitude dans le modèle. On essaie de se coller à nos provisions réelles et de contrôler le montant d'ouverture des sinistres tardifs simulés. Or, on ne possède pas beaucoup de moyens pour vérifier la validité de ces ajustements et le montant des IBYNR des provisions est une source de discussion. Dans la pratique, on décide de garder les 39 sinistres tardifs même si la charge à l'ultime simulée de ces sinistres fictifs est environ deux fois les provisions IBYNR réelles. On garde cette approche dans le but d'obtenir la distribution nette de réassurance de notre portefeuille.

4.8.4 Mesures d'ajustement dans la pratique

Un premier moyen pour savoir si nos simulations surestiment ou sous-estiment la charge à l'ultime de nos sinistres est une approche individuelle. On peut regarder les différents quantiles de nos simulations et les comparer avec les quantiles des sinistres historiques que l'on considère à l'ultime. Cette approche nous permet d'ajuster dans un premier temps nos paramètres afin de diminuer ou d'augmenter la charge à l'ultime simulée. Par exemple, on peut écarter les paramètres avec lesquels le sinistre maximal simulé est à hauteur de 50 M€. C'est par cette méthode (dite de *backtesting*) que l'on décide de garder des paramètres qui produisent des simulations pertinentes.

Dans un deuxième temps, on utilise une vision agrégée pour pouvoir valider les jeux de simulations. En effet, notre moyen de mesurer l'écart de nos simulations avec les provisions communiquées sont les *Best Estimate* des IBNeR (*Incurring But Not Enough Reported*) bruts de réassurance donnés dans les provisions pour les sinistres graves corporels. En modifiant nos paramètres, on peut mesurer l'écart entre les provisions de l'inventaire et les provisions issues de nos simulations.

Pour le faire, on modifie deux paramètres selon les années de survenance. Pour les années de survenance antérieures à 2012, on décide de traiter les coefficients individuels afin de ne pas prendre en compte les coefficients extrêmes (c'est-à-dire les coefficients les plus importants). Pour cela, on tronque notre liste des coefficients utilisés pour la création des classes de coefficients et on relance nos simulations. Par une méthode d'itérations, on décide alors un quantile maximal à partir duquel, les coefficients ne sont plus pris en compte. Pour les années de développement récentes (2013-2014), on croit pertinent de ne pas modifier les coefficients parce que l'on attend que ces deux années de survenance soient très volatiles. De ce fait, on décide de modifier le paramètre des années de développement nécessaires pour atteindre la charge à l'ultime. En effet, uniquement avec pour but de se centrer sur le BE correspondant à 2013 et à 2014, on décide de diminuer le nombre d'années de développement.

Par rapport aux sinistres tardifs, on applique une méthode semblable. On fait varier le nombre d'années de développement pour faire varier la charge à l'ultime simulée.

Cette partie de validation des simulations est la partie à laquelle on a consacré le plus de temps. On a réalisé plusieurs contrôles sur les simulations obtenues et on a décidé de garder plusieurs jeux de simulations pour mesurer les écarts entre les différentes simulations. C'est cette partie-là qui nous permet de mettre en question les provisions réelles. Nos simulations nous offrent une vision différente de celle de l'inventaire. La méthode développée est d'une grande utilité : elle nous permet de comparer deux façons distinctes d'évaluer les provisions du portefeuille. Cependant, pour pouvoir continuer l'étude du portefeuille, on a décidé de garder uniquement un jeu de simulations : le jeu de simulations considéré comme le plus pertinent.

4.9 Implémentation et résultats

En réalisant des tests sur les paramètres précisés précédemment, on décide de garder les critères suivants :

- Pour les années de survenances antérieures à 2012, on garde un quantile maximal égal à 0,971 .
- Pour les années de survenances égales à 2013 et 2014, on garde une durée de développement égale à 13 années.

	BE IBNeR retenu	BE IBNeR simulé sans modifications	Écart	%
surv <=2012	91 457 249	185 947 278	94 490 028	50,8%
surv 13-14	53 620 247	63 309 976	9 689 730	15,3%

FIGURE 4.22 – Tableau comparatif entre les BE simulés validés et les BE simulés sans modifications

Une fois que l'on valide nos simulations centrées, on compare les résultats des simulations centrées et les résultats des simulations sans modification des paramètres. Le tableau ci-dessus montre cette comparaison. On constate que l'écart est bien important selon la modification des paramètres, surtout pour les années 1998-2012. On constate qu'en gardant 97,1 % des coefficients les plus petits au lieu de 99 %, on obtient presque la moitié du BE des IBNeR. Ceci montre que le jeu de simulation est très sensible à ce paramètre. Pour les années 2013 et 2014, on voit que passer de 13 à 15 années de développement représente une augmentation de 15 % du BE des IBNeR.

4.10 Limites de l'approche

- On fait l'hypothèse que les sinistres des années récentes évolueront de la même façon que les anciens sinistres : par exemple, qu'un sinistre à 1 M€ de nos jours a la même probabilité de passer à 3 M€ qu'un sinistre à 1 M€ d'il y a 15 ans. Cette hypothèse est fortement rejetable car on ne prend en compte ni l'inflation ni les augmentations du coût des indemnités. Cependant, on rappelle que nos visions valables sont de 2007 à 2014. On néglige les changements économiques existants entre 2007 et nos jours. De même, on suppose que l'évolution entre 2007 et 2014 des sinistres (de n'importe quelle survenance) peut être utilisée pour modéliser les évolutions des années prochaines. Ensuite, il faut se poser la question de savoir si la 15ème année de développement des sinistres d'aujourd'hui par exemple (c'est à dire l'évolution entre l'année 2028 et 2029) peut être explicitée en fonction de l'évolution entre 2007 et 2014 de nos sinistres. Il s'agit évidemment d'une hypothèse très contestable.
- On suppose que les sinistres clos à la dernière vision disponible ne seront pas réouverts. Ceux-ci ne sont pas simulés. On sait qu'il y a une probabilité de réouverture pour tous les sinistres. On fait l'hypothèse que la charge des sinistres « réouverts » est négligeable par rapport à la charge simulée. Comme on s'intéresse à la charge globale du portefeuille, on peut surestimer la charge simulée pour prendre en compte les sinistres qui seraient réouverts. Une autre façon de les prendre en compte, c'est d'augmenter arbitrairement le nombre de sinistres simulés comme IBNeR.

Chapitre 5

De la sinistralité brute à la sinistralité nette de réassurance

Avec l'utilisation des méthodes de provisionnement pour des triangles agrégés, on ne possède pas d'information individuelle pour chaque sinistre. On se limite alors à la charge ultime agrégée par année de survenance. L'application d'une réassurance historique est alors impossible d'un point de vue individuel et elle se fait à partir d'un taux global historique de cession. Cette approche peut paraître grossière car on ne prend pas en compte les évolutions individuelles des sinistres. Or, grâce à nos charges à l'ultime simulées dans le chapitre précédent, on peut appliquer individuellement la réassurance historique aux sinistres graves. On peut en déduire la part de la charge simulée de chaque sinistre prise en charge par le réassureur. Cela nous permettra en fin de chapitre d'obtenir la distribution nette de réassurance du portefeuille des dommages corporels. Il faut rappeler qu'on fait l'hypothèse que les sinistres attritionnels étudiés dans le chapitre 3 n'atteignent pas les priorités des traités. De cette façon, la réassurance historique n'intervient que pour les sinistres graves.

5.1 Estimation de la distribution nette de réassurance

Pour pouvoir appliquer la réassurance historique, il faut d'abord étudier la part en rente de chaque sinistre simulé et sa réévaluation selon les tables de mortalité et les taux correspondants. Ensuite, il faut appliquer la clause de stabilité existante entre l'assureur et le réassureur. Après ces deux étapes, on pourra appliquer la structure historique de réassurance.

5.1.1 Clause de rachat des rentes

On constate une source de différence lors de l'évaluation d'un sinistre. En effet, lorsqu'un sinistre corporel possède un poste susceptible d'être versé en rente, on calcule son évaluation avec des critères différents de ceux convenus avec le réassureur. Cela pour des raisons internes à la compagnie. Les provisions dossier/dossier dans le cas d'un versement d'une rente se font avec la table de mortalité TD 88-90 et avec un taux d'actualisation de 2,5 % pour tous les sinistres. La différence du montant de la rente issue des différents critères d'évaluation est pris en charge par l'assureur, d'où cette hypothèse de rachat des rentes pour s'aligner sur les critères dictés dans le traité de réassurance.

Nos simulations ont été effectuées avec les montants issus des critères de la compagnie. Dans une perspective d'application de la couverture en réassurance historique, on est obligés de modifier les montants correspondants aux rentes des sinistres simulés. Ainsi, on respecterait les dispositions convenues entre l'assureur et le réassureur. Pour modifier les montants correspondants aux rentes, on suivra deux étapes de calcul : d'abord la détermination de la part en rente et ensuite les taux de passage entre les conditions de la cédante et les conditions du réassureur.

La détermination de la part en rente provient de l'abaque expliqué dans la partie 2.6 « Cartographie sur le portefeuille ». En effet, on utilise cette statistique effectuée à vision 2014 pour définir le pourcentage de sinistres possédant une rente et leur pourcentage dans le coût total du sinistre. Cela parce qu'on ne possède pas plus d'informations sur la répartition des postes de préjudice à différentes dates. Il s'agit d'une forte hypothèse, on verra dans la partie « Sensibilité aux hypothèses » de ce même chapitre l'impact des hypothèses retenues.

Il faut ensuite déterminer le taux de passage de réévaluation entre les critères de l'assureur et ceux du réassureur. Ces différences ont été données dans la partie 1.4.3. Pour cela, on analyse le prix d'un euro de rente (P€R) selon les critères de la compagnie et selon les critères dictés par le réassureur ; on en déduit les taux de passage entre les deux critères. Ces tables sont montrées dans l'annexe 3. Avec ces taux de passage, on peut réévaluer la part d'un sinistre susceptible d'être versée en rente. Issu de nos simulations, on multiplie ce montant par le coefficient selon l'âge de la victime et on obtient les montants des sinistres selon les critères d'évaluation du réassureur.

En pratique pour nos charges à l'ultime, on leur assimile un pourcentage de part en rente et un âge moyen lors de l'attribution de la rente en fonction des tranches de coût. Ces informations ont été données dans la partie 2.6. On réévalue ensuite sa part en rente avec les coefficients de passage et on obtient des montants à l'ultime modifiés. En l'occurrence, on a :

$$Simu_{modifie} = simu * (1 - partenrente) + simu * partenrente * coefdepassage$$

Il semble une hypothèse forte le fait d'associer un âge moyen et un pourcentage moyen à tous les sinistres appartenant à une même tranche de coût. Cependant, on s'intéresse uniquement à la charge totale du portefeuille et on est obligés de réaliser cette étape pour ensuite pouvoir appliquer la réassurance historique selon les conditions de la couverture. On mesurera l'impact des hypothèses sur l'abaque.

En comparant les simulations avant et après application de l'abaque, on obtient :

surv	charge simulée avant abaque	charge simulée après abaque	écart	%
1998	27 511 987	26 373 036	1 138 951	4,14%
1999	24 520 736	23 731 680	789 056	3,22%
2000	39 522 476	38 114 416	1 408 060	3,56%
2001	49 193 763	46 417 787	2 775 977	5,64%
2002	49 971 190	47 436 919	2 534 271	5,07%
2003	33 366 899	31 925 845	1 441 054	4,32%
2004	51 460 864	49 555 206	1 905 657	3,70%
2005	49 525 793	47 199 358	2 326 435	4,70%
2006	66 646 119	63 176 547	3 469 572	5,21%
2007	66 283 764	63 641 201	2 642 563	3,99%
2008	55 895 998	54 785 269	1 110 729	1,99%
2009	71 524 656	68 898 674	2 625 982	3,67%
2010	96 669 233	93 250 583	3 418 650	3,54%
2011	106 987 589	103 411 390	3 576 198	3,34%
2012	105 352 833	101 431 649	3 921 184	3,72%
2013	97 781 601	93 831 314	3 950 287	4,04%
2014	76 739 820	73 945 680	2 794 141	3,64%
Total général	1 068 955 318	1 027 126 552	41 828 766	3,91%

FIGURE 5.1 – Impact de l'application de l'abaque

On constate que globalement, le fait de s'aligner sur les critères des traités historiques pour l'évaluation des rentes fait diminuer la charge simulée de 4 %.

5.1.2 Clause de stabilisation

Il nous faut ensuite étudier la clause de stabilité. On rappelle que le but de cette clause est de répartir le coût de l'inflation entre l'assureur et le réassureur. Notre clause de stabilité est applicable à partir de 10 % de variation de l'indice de référence par rapport à l'indice de base. Si c'était le cas, alors la portée et la priorité du traité se font augmenter du même pourcentage.

En pratique, il est un peu plus compliqué d'appliquer la clause de stabilité car on l'applique uniquement aux règlements effectués par la cédante. On procède de la façon suivante : on calcule les règlements stabilisés correspondant à l'année de développement i .

Notons X_i le règlement non cumulé d'un sinistre dans l'année i de développement. On a :

$$X_i^{stab} = \frac{X_i}{d_i} \text{ avec } d_i = \frac{\text{indice de référence}}{\text{indice de base}}$$

On fait ensuite la somme des règlements stabilisés et on calcule un ratio de stabilisation.

$$\text{règlements cumulés stabilisés} = \sum_{i=1}^{15} X_i^{stab}$$

On en déduit :

$$\text{ratio de stabilisation} = \frac{\text{charge à l'ultime}}{\text{règlements cumulés stabilisés}}$$

C'est ce dernier ratio qui vient modifier les priorités et les portées de la structure en réassurance appliquées pour un sinistre selon son année de survenance.

Il nous reste à déterminer les règlements annuels non cumulés des sinistres. En effet, nos simulations ne nous donnent que le montant à l'ultime par sinistre. On est obligés de réaliser une hypothèse sur la cadence de règlement. En effectuant une méthode de Chain-Ladder sur notre historique des règlements des sinistres graves, on en déduit une cadence de règlement. Avec ces coefficients, on peut répartir la charge ultime tout au long de 25 années de développement et par conséquent, on peut appliquer la clause de stabilisation. On choisit 25 années de développement car on constate que les sinistres survenus en 1990 ont déjà été réglés à 99.15% en 2014.

5.1.3 Couverture en réassurance historique

On peut finalement appliquer la réassurance historique à nos sinistres car on respecte les critères d'évaluation des sinistres selon les critères des traités. La structure historique est la suivante :

Surv	Priorité T1	Priorite T2	Priorite T3	Priorite T4	AAD T1
1998	P1_1998	P2_1998	illimitée	-	-
1999	P1_1999	P2_1999	illimitée	-	-
2000	P1_1999	P2_2000	illimitée	-	-
2001	P1_2000	P2_2001	illimitée	-	-
2002	P1_2001	P2_2002	P3_2002	P4_2002	-
2003	P1_2002	P2_2003	illimitée	-	-
2004	P1_2003	P2_2004	P3_2004	P4_2004	-
2005	P1_2004	P2_2005	P3_2005	P4_2005	-
2006	P1_2005	P2_2006	P3_2006	P4_2006	-
2007	P1_2006	P2_2007	P3_2007	P4_2007	-
2008	P1_2007	P2_2008	illimitée	-	AAD_2008
2009	P1_2008	P2_2009	illimitée	-	AAD_2009
2010	P1_2009	P2_2010	illimitée	-	AAD_2010
2011	P1_2010	P2_2011	illimitée	-	AAD_2011
2012	P1_2011	P2_2012	illimitée	-	AAD_2012
2013	P1_2012	P2_2013	illimitée	-	AAD_2013
2014	P1_2013	P2_2014	illimitée	-	-

FIGURE 5.2 – Traités historiques selon les années de survenance

On possède uniquement des Excédent de Sinistre (XS), ci-dessus on trouve les priorités et les portées correspondantes à chaque tranche. On applique cette structure à nos charges à l'ultime simulée. On s'intéresse à la charge nette de réassurance pour la cédante. On obtient enfin les charges simulées nettes de réassurance par année de survenance et par état du monde.

5.1.4 Sensibilité aux hypothèses

On a effectué certaines hypothèses lors de l'application de la réassurance historique, notamment lors de l'application de la clause de rachat des rentes indemnitaires et de la clause de stabilisation. Dans cette partie, on va mesurer la sensibilité des sinistres nets de réassurance à certains paramètres choisis lors de l'application des clauses.

a) Réassurance historique avec différents abaques choisis

Comme expliqué dans la section 5.1.1, on a effectué un abaque avec notre historique des sinistres donnant une répartition moyenne des sinistres avec une rente, une moyenne de la part en rente et un âge moyen lors de l'attribution de la rente. Ces valeurs moyennes sont définies par tranche du montant du sinistre. On compare ici la sensibilité des sinistres nets de réassurance avec d'autres abaques. Dans un premier temps, on crée un abaque avec une augmentation de 10 % des sinistres qui possèdent une rente. Dans un deuxième temps, on diminue l'âge moyen d'attribution de 5 ans pour les sinistres inférieurs à 4 M€ et de 3 ans pour les sinistres supérieurs à 4 M€. On mesure uniquement l'impact de la clause de rachat de rentes ; on ne prend pas en compte la clause de stabilisation.

CHAPITRE 5. DE LA SINISTRALITÉ BRUTE À LA SINISTRALITÉ NETTE DE RÉASSURANCE

Tranche	Part de rente initiale	Part de rente nouvelle	Sinistre net de réassurance			
			surv	Moyenne initiale	Moyenne simu1	Ecart entre simu1 et initiale
0-250k	0%	0%	1998	13 390 079	13 421 393	0,23%
250k-500k	0%	0%	1999	13 797 582	13 863 985	0,48%
500k-1M	11%	12%	2000	20 120 639	20 224 358	0,52%
1M-1,5M	7%	13%	2001	22 426 637	22 520 396	0,42%
1,5M-2M	12%	14%	2002	25 586 743	25 701 715	0,45%
2M-3M	39%	43%	2003	18 352 854	18 388 572	0,19%
3M-4M	62%	68%	2004	35 355 653	35 466 480	0,31%
4M-5M	88%	96%	2005	34 262 909	34 332 123	0,20%
5M-6M	78%	86%	2006	44 163 578	44 259 935	0,22%
6M-7M	86%	94%	2007	49 309 908	49 415 447	0,21%
7M-8M	86%	94%	2008	54 674 912	54 676 994	0,00%
>8M	100%	100%	2009	66 146 967	66 197 699	0,08%
			2010	90 191 215	90 265 209	0,08%
			2011	98 534 811	98 600 847	0,07%
			2012	92 839 035	92 901 754	0,07%
			2013	81 888 200	81 944 271	0,07%
			2014	52 556 204	52 586 139	0,06%
			Total	813 597 924	814 767 316	0,14%

FIGURE 5.3 – Premier test sur l’abaque : +10 % de la part des sinistres qui ont une rente

On constate que l’impact d’une augmentation de 10 % de la part des sinistres qui possèdent une rente représente uniquement une augmentation de 0,14 % pour le total des sinistres nets de réassurance. L’impact de cette hypothèse est mineur.

CHAPITRE 5. DE LA SINISTRALITÉ BRUTE À LA SINISTRALITÉ NETTE DE RÉASSURANCE

			Sinistre net de réassurance			
			surv	Moyenne initiale	Moyenne simu2	Ecart entre simu2 et initiale
			1998	13 390 079	13 427 476	0,28%
			1999	13 797 582	13 823 642	0,19%
			2000	20 120 639	20 168 696	0,24%
			2001	22 426 637	22 514 856	0,39%
			2002	25 586 743	25 664 754	0,30%
			2003	18 352 854	18 402 214	0,27%
			2004	35 355 653	35 418 607	0,18%
			2005	34 262 909	34 340 033	0,23%
			2006	44 163 578	44 274 154	0,25%
			2007	49 309 908	49 396 676	0,18%
			2008	54 674 912	54 687 194	0,02%
			2009	66 146 967	66 211 161	0,10%
			2010	90 191 215	90 267 945	0,09%
			2011	98 534 811	98 619 481	0,09%
			2012	92 839 035	92 945 575	0,11%
			2013	81 888 200	81 980 820	0,11%
			2014	52 556 204	52 723 877	0,32%
			Total	813 597 924	814 867 161	0,16%

Tranche	Age initial	Nouvel âge
0-250k	0	0
250k-500k	0	0
500k-1M	46	41
1M-1,5M	47	42
1,5M-2M	55	50
2M-3M	39	35
3M-4M	37	33
4M-5M	25	23
5M-6M	31	28
6M-7M	27	24
7M-8M	27	24
>8M	26	23

FIGURE 5.4 – Deuxième test sur l’abaque : diminution de l’âge moyenne lors de l’attribution de la rente

On constate que l’impact d’une diminution de 5 ans (ou 3 ans respectivement) sur l’âge moyen d’attribution des rentes représente une augmentation de 0,16 % pour le total des sinistres nets de réassurance. L’impact de cette hypothèse est également mineur. On peut négliger l’impact des valeurs moyennes par tranches sur la sinistralité nette : on peut donc confirmer l’utilisation de notre abaque.

b) Réassurance historique avec différentes cadences de règlements

Comme expliqué dans la section 5.1.2, on a effectué une cadence de règlement en fonction de la liquidation de notre triangle des sinistres graves avec la méthode de Chain-Ladder à 25 ans. On suppose maintenant une cadence de règlement constante tout au long du développement des sinistres, c’est-à-dire une cadence annuelle de 4 %.

CHAPITRE 5. DE LA SINISTRALITÉ BRUTE À LA SINISTRALITÉ NETTE DE RÉASSURANCE

Année de développement	CdR initiale	CdR nouvelle	Sinistre net de réassurance			
			surv	Moyenne initiale	Moyenne simu3	Ecart
1	0,4%	4%	1998	13 638 040	13 503 569	0,99%
2	2,4%	4%	1999	15 194 444	14 979 198	1,42%
3	2,9%	4%	2000	21 193 562	20 927 478	1,26%
4	4,7%	4%	2001	22 058 133	21 810 622	1,12%
5	6,0%	4%	2002	25 653 675	25 394 898	1,01%
6	5,0%	4%	2003	18 358 147	18 212 993	0,79%
7	5,8%	4%	2004	36 694 974	36 371 693	0,88%
8	3,6%	4%	2005	34 522 827	34 258 242	0,77%
9	1,7%	4%	2006	44 653 876	44 263 629	0,87%
10	2,1%	4%	2007	50 445 953	50 082 619	0,72%
11	1,8%	4%	2008	54 810 535	54 767 809	0,08%
12	2,9%	4%	2009	66 733 544	66 500 224	0,35%
13	3,9%	4%	2010	91 215 098	90 927 763	0,32%
14	2,8%	4%	2011	99 414 415	99 109 255	0,31%
15	1,3%	4%	2012	93 406 362	93 051 425	0,38%
16	7,5%	4%	2013	82 624 198	82 294 534	0,40%
17	4,3%	4%	2014	53 846 294	53 551 506	0,55%
18	6,2%	4%	Total	824 464 076	820 007 458	0,54%
19	4,9%	4%				
20	4,9%	4%				
21	4,9%	4%				
22	4,9%	4%				
23	4,9%	4%				
24	4,9%	4%				
25	4,9%	4%				

FIGURE 5.5 – Test sur la cadence de règlement : règlements annuels égaux à 4 %

On constate que le passage à une cadence de règlement constante tout au long du développement des sinistres représente une diminution de 0,54 %. L'impact de ce passage est négligeable. On décide donc de garder notre cadence de règlements évaluée avec notre historique de sinistres.

c) Application de la réassurance historique avec ou sans les clauses de stabilité et de rachat des rentes

On compare maintenant l'impact de chaque clause sur le montant de la charge ultime nette de réassurance. On obtient par année de survenance les résultats suivants :

CHAPITRE 5. DE LA SINISTRALITÉ BRUTE À LA SINISTRALITÉ NETTE DE RÉASSURANCE

surv	Moyenne de la charge nette de réassurance			
	Sans stab, sans abaque	Sans stab, avec abaque	Avec stab, sans abaque	Avec stab, avec abaque
1998	10 176 579	11 020 035	11 224 107	12 067 563
1999	10 751 321	11 355 410	12 505 027	13 108 635
2000	15 456 618	16 559 286	17 442 302	18 544 852
2001	16 310 114	18 457 122	18 153 843	20 300 237
2002	19 154 976	21 057 889	21 112 975	23 009 133
2003	13 906 735	15 104 399	15 108 755	16 305 322
2004	27 569 003	29 097 702	30 199 964	31 677 524
2005	26 300 199	28 198 374	28 412 287	30 273 557
2006	33 612 152	36 346 625	36 750 140	39 430 422
2007	38 440 766	40 582 054	41 517 019	43 571 195
2008	44 656 250	44 997 453	45 109 070	45 332 445
2009	52 731 143	54 438 954	54 921 707	56 189 548
2010	72 148 850	74 227 370	75 070 026	76 473 899
2011	78 838 882	81 094 149	81 818 064	83 472 445
2012	73 646 416	76 406 526	76 873 436	79 181 100
2013	64 979 047	67 393 989	67 999 715	69 932 167
2014	41 647 448	43 253 756	44 315 500	45 713 233
Total général	640 326 498	669 591 091	678 533 935	704 583 280

FIGURE 5.6 – Impact des différentes clauses par année de survenance

Sur le global de la charge nette de réassurance, on obtient selon l'application des clauses les écarts suivants :

	Avec stab uniquement	Avec abaque uniquement	Avec les deux clauses
Ecart entre réassurance sans les clauses et avec les clauses	4,37%	5,63%	9,12%

FIGURE 5.7 – Ecart entre la réassurance sans clauses et celle avec les distinctes clauses

On constate que l'impact de l'application des deux clauses précédentes est d'une augmentation de 9,12 % sur la charge à l'ultime pour la cédante. On décide de garder les deux clauses dans l'optique de simuler au mieux les charges à l'ultime.

Charge totale à l'ultime	Charge nette de réassurance	Taux de cession
864 726 077	704 583 280	18,52%

FIGURE 5.8 – Taux de cession simulé

On retrouve alors un taux de cession égal à 18,52 %. Cela veut dire que la charge pour la cédante est de l'ordre de 80 %. Nos simulations montrent alors la limite de la structure de réassurance historique. Elle n'est pas efficace du point de vue de la cédante : d'où l'importance soit de modifier la structure de réassurance, soit de rajouter des couvertures supplémentaires.

5.2 Agrégation et distribution nette de réassurance

On a enfin le jeu de simulations des charges à l'ultime par année de survenance des sinistres attritionnels, on possède également le jeu de simulations des charges à l'ultime nettes de réassurance par année de survenance des sinistres graves. On peut maintenant procéder à l'agrégation de ces deux morceaux pour enfin obtenir la distribution nette de réassurance sur la totalité du portefeuille.

On rappelle que pour cette partie on décide de garder les simulations retenues. On s'intéresse à la distribution des réserves, on a pour les sinistres graves les égalités suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Charge à l'ultime} &= \text{Règlements cumulés} + \text{Provision dossier/dossier} + \text{IBNeR} \\ \text{Réserves} &= \text{Charge à l'ultime} - \text{Règlements cumulés} \end{aligned}$$

On peut procéder à l'agrégation des deux segments de notre portefeuille. Pour chaque état du monde, on possède le $BE_{attritionnels}$ et le BE_{graves} des réserves. Ce qui nous conduit à un $BE_{portefeuille}$. De ces simulations, on peut en déduire la courbe de la distribution des réserves nette de réassurance. On obtient :

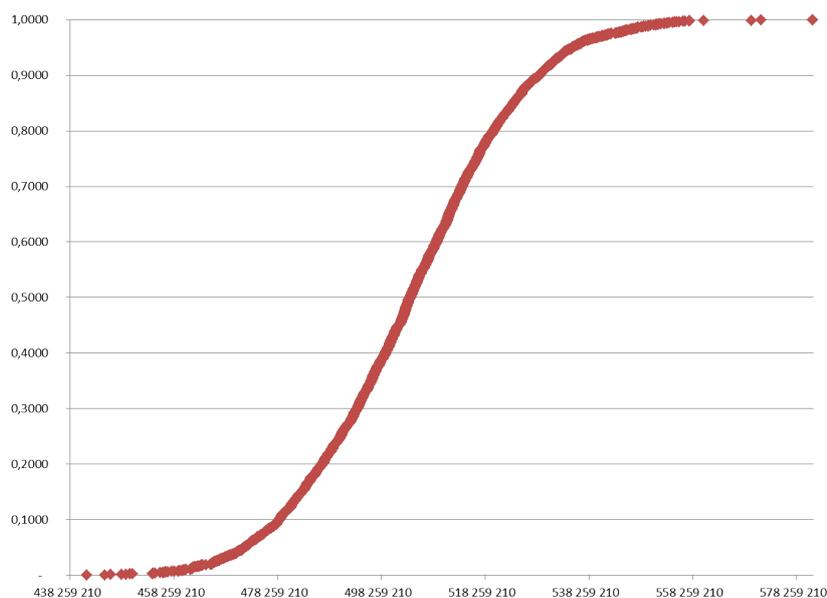


FIGURE 5.9 – Distribution de la réserve nette du portefeuille

Quantile	Réserves
10%	478 587 915
20%	486 874 810
30%	493 715 783
40%	499 110 842
50%	503 766 288
60%	508 948 887
70%	513 798 129
80%	519 900 460
90%	528 752 979
99%	550 137 168

FIGURE 5.10 – Quantiles de la distribution des réserves

Cette distribution représente globalement notre évaluation du portefeuille. On peut dire qu'à l'ultime, la compagnie devra encore payer entre 528 M€ et 670 M€ pour les sinistres compris dans le portefeuille. La distribution nous permet alors de connaître la probabilité de déviation de nos réserves : elle nous indique la probabilité que nos réserves à un montant défini ne soient pas suffisantes. Elle nous permet par conséquent de quantifier le risque de sous-provisionnement du portefeuille. Pour la suite, on envisagera la mise en place d'une réassurance rétrospective sur le portefeuille étudié et on utilisera la distribution nette de réassurance pour tarifier une telle couverture.

5.3 Mise en place de la couverture de réassurance rétrospective

Dans le cadre de l'entrée en vigueur de Solvabilité 2, nous réfléchissons à la façon d'améliorer les ratios de solvabilité pour la branche Automobile. Entre autres possibilités, on a envisagée de faire diminuer le capital alloué correspondant au risque de réserves. Il s'agit de l'un des risques qui pèse le plus pour la compagnie. Elle a ensuite choisi les dommages corporels de la branche automobile car il s'agit du type de sinistres qui possède le risque de réserve le plus important.

La réassurance rétrospective vise à se prémunir de la dérive des provisions au net des couvertures de réassurances historiques et par conséquent à réduire le besoin en capital au titre du risque de réserves. Avec cette solution envisagée, on allège un poste significatif des provisions et parallèlement, on allège le capital immobilisé. Consécutivement aux études préliminaires, la réassurance rétrospective envisagée est une couverture mixte permettant à la fois d'optimiser le capital et de couvrir le risque de dérive des provisions.

On a donc voulu imaginer un programme visant à réduire significativement le risque de réserves sur les branches les plus consommatrices en capital au 31/12/2014, à savoir sur les dommages corporels. Il s'agirait d'un traité de réassurance rétrospective du type « XS » pour le portefeuille analysé précédemment. Afin de maximiser l'efficacité de la couverture, la compagnie a envisagé d'appliquer la réassurance rétrospective aux années de survenances de 1998-2014. En effet, il s'agit d'une protection contre des risques déjà souscrits, par opposition aux traités de réassurances classiques qui couvrent les événements à venir : on doit donc choisir le périmètre d'application à l'avance.

La distribution ultime des réserves trouvée dans la partie 5.2 nous permet de tarifier la réassurance rétrospective. Elle nous permet de quantifier la déviation des provisions. De même, on peut déterminer le prix à payer au réassureur en cas de mise en place du traité de réassurance. C'est à ce stade-ci que l'entreprise doit mesurer son *risk appetite* pour pouvoir déterminer si elle accepte ou pas un prix offert par un réassureur en fonction des avantages de la réassurance.

On a envisagé le cas suivant : la réassurance rétrospective est de type « XS ». La couverture fonctionnerait de la façon suivante : dès que les réserves atteignent un montant défini (comme une priorité dans la réassurance traditionnelle), le réassureur commencerait à prendre en charge le dépassement

des réserves par rapport à la priorité.

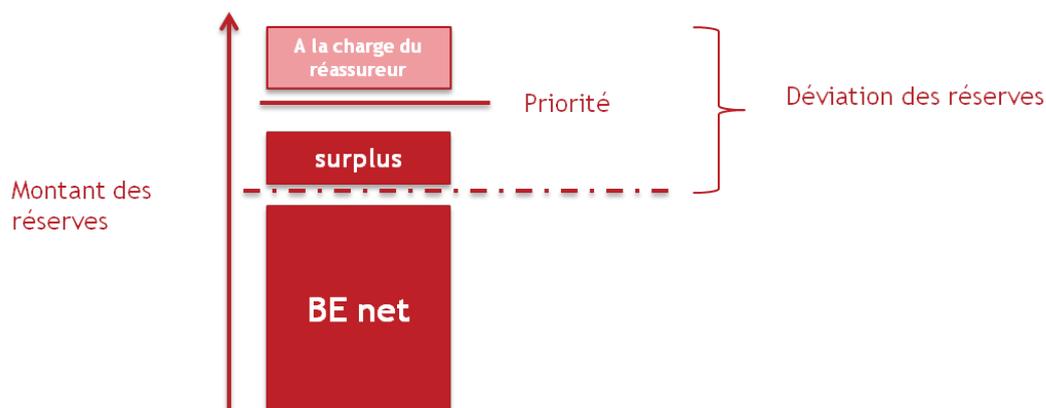


FIGURE 5.11 – Fonctionnement de la réassurance rétrospective du type XS

Pour donner un prix à cette couverture, on étudie la perte moyenne du réassureur. Ainsi, la prime pure de la transaction serait :

$$\text{prime neutre} = \int_{\text{priorité}}^{\infty} f(x)(x - \text{priorité}) dx$$

avec f la fonction de densité des réserves.

Avec nos 2500 états du monde, on peut effectivement chiffrer la tarification de cette couverture. On obtient :

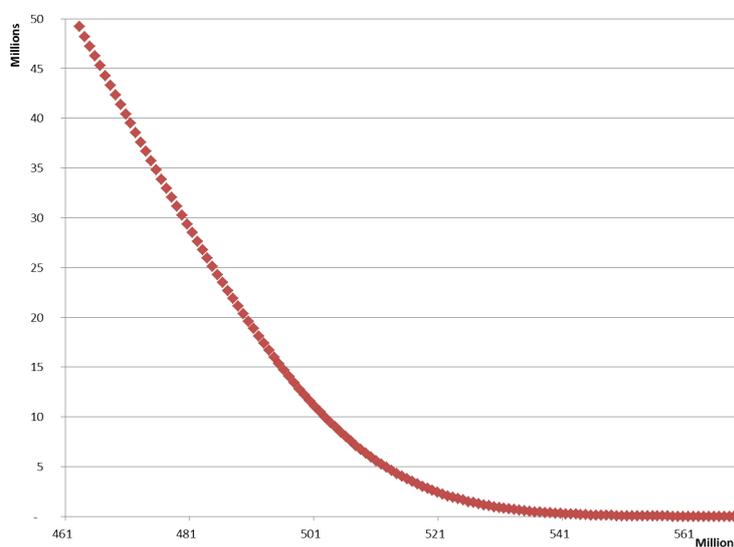


FIGURE 5.12 – Tarif de la couverture rétrospective du type XS en fonction de la priorité

Le prix de la couverture analysé est neutre. Il s'agit de la prime pure que la cédante devrait payer. Il s'agit également de la perte moyenne du réassureur. On ne prend en compte ni la marge de risque pour le réassureur ni le taux de chargement pour le réassureur. Cette tarification pure permet uniquement de se positionner (du point de vue de la cédante) vis-à-vis des propositions du réassureur.

Le réassureur fait payer une prime à l'entrée. Or, selon les distinctes négociations, on retrouve des clauses spécifiques (par exemple des primes complémentaires à verser au bout d'un temps défini). Il est donc nécessaire d'arbitrer le coût de la transaction en fonction de la prime immédiate et des futures primes demandées par le réassureur. Le niveau de protection et les conséquences de certaines clauses doivent être également analysés pour essayer de trouver l'équilibre en termes de solvabilité 2 et l'équilibre opérationnel.

Le coût proposé par le réassureur devrait être mis en concurrence avec des solutions alternatives telles que la dette subordonnée. En effet, une autre solution pour améliorer les ratios de solvabilité est l'emprunt du capital. Il faudrait alors analyser deux aspects : il faudrait connaître le niveau de dette subordonnée permettant de produire les mêmes effets sur le ratio de solvabilité que la réassurance envisagée, et ensuite, il faudrait connaître le taux auquel cet emprunt soit rémunéré pour que les coûts des deux solutions soient équivalents. Les taux nécessaires calculés nous permettraient de déterminer s'il convient d'utiliser la réassurance rétrospective par rapport à un emprunt de capital.

Avec toutes ces informations, il ne reste qu'à procéder à une étape d'analyse de la faisabilité de la transaction. D'un côté, on doit étudier les bénéfices d'une telle couverture comme le gain en ratio de solvabilité ou le gain en capital alloué. D'un autre côté, on doit prendre en compte le prix de la transaction, le taux de chargement, la durée des risques portés par le réassureur et les éléments de structure du traité. Cette analyse nous permettrait d'arbitrer entre la mise en place de la réassurance rétrospective et d'autres solutions alternatives.

CONCLUSION

Tout au long de ce mémoire on a étudié et analysé en profondeur les dommages corporels de la branche automobile. On sait à l'avance que cette branche longue de l'assurance non-vie génère beaucoup d'incertitude dans les provisions. De même, on ne constate que des augmentations dans les provisions des années récentes. Afin de se protéger contre le risque de réserves issu de ce portefeuille, on a envisagé la mise en place d'une réassurance rétrospective couvrant les sinistres déjà constatés dans notre portefeuille. Pour quantifier le coût de cette réassurance, on a dû évaluer la charge à l'ultime de notre portefeuille.

De manière générale, les méthodes classiques de provisionnement (utilisant des données agrégées) sont mal adaptées pour les triangles agrégés des sinistres corporels. On a donc décidé de segmenter nos sinistres et d'évaluer la provision de façon différente pour chaque partie.

D'un côté, pour les sinistres attritionnels, on s'est assuré de l'application des méthodes usuelles et on a utilisé une approche classique de provisionnement avec des données agrégées. D'un autre côté, pour les sinistres graves, on a développé une méthode alternative de provisionnement avec des données individuelles aux sinistres. Pour cela, on a regardé les coefficients de développement individuel constatés le long des dernières années. Or, au lieu de prendre les années de développement comme variable explicative de l'évolution d'un sinistre, on a choisi d'utiliser le montant de la charge comme facteur pour évaluer l'évolution du sinistre. On a effectué des simulations prospectives pour estimer la charge ultime de chaque sinistre. Ce type de modélisation nous a permis d'appliquer notre réassurance historique non proportionnelle ; on a pu réaliser des études pour analyser l'impact de certaines hypothèses prises lors de l'application de la réassurance historique.

En consolidant nos deux segments de sinistres, on a réussi à obtenir la distribution nette de la charge ultime du portefeuille. Elle nous a permis d'avoir une position vis-à-vis des méthodes de provisionnement utilisées actuellement pour le portefeuille agrégé et à partir de cette distribution, nous avons tenté de trouver une solution de réassurance rétrospective permettant de venir en soutien à la structure historique jugée insuffisante.

En conclusion, le cœur de notre étude a été l'évaluation de la charge à l'ultime du portefeuille des dommages corporels en ayant pour objectif la mise en place d'une réassurance rétrospective. Dans une suite à cette étude, on pourrait se focaliser plus sur le provisionnement. On pourrait comparer la méthode de provisionnement dite de ligne à ligne avec les méthodes utilisées par l'inventaire et effectuer des études plus techniques pour choisir la méthode de provisionnement la mieux adaptée à notre portefeuille.

On pourrait également prolonger cette étude en prenant en compte l'inflation du coût des indemnisations. On pourrait effectivement réaliser des réévaluations des coûts des sinistres historiques avec une vision actuelle. Il s'agit du processus appelé *As If*. De même, on pourrait envisager une modélisation individuelle par poste de préjudice. On pourrait étudier chaque poste de préjudice de la nomenclature Dintilhac et leur évolution dans le temps. Enfin, on n'a pas effectué des classes par type de sinistre : une autre extension serait de regrouper nos sinistres en fonction de l'âge des assurés, par typologie de sinistre ou par gravité de sinistre pour modéliser plus finement chaque sinistre.

Bibliographie

- [1] AAVAC (Association d'Aide aux Victimes d'Accidents Corporels), *Préjudices corporels*.
<http://www.aavac.asso.fr/>
- [2] ACAM (Autorité de Contrôle des Assurances et des Mutuelles) (2007), *Conférence du Contrôle : L'enquête sur les traités de réassurance finite souscrits par les organismes au contrôle de l'ACAM*.
- [3] ACPR (Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution), *Analyses et Synthèses Solvabilité 2 : principaux engagements de la cinquième étude quantitative d'impact (QIS5)*.
- [4] ACPR (Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution), *Pilier 2 : Les exigences qualitatives*.
<https://acpr.banque-france.fr/solvabilite2/pilier-2-les-exigences-qualitatives/orsa.html>
- [5] BEJUI-HUGUES H., BESSIERES-ROQUES I. (2009), *Précis d'évaluation du dommage corporel*, L'Argus de l'Assurance, 4ème édition.
- [6] BENETEAU G. (2004), *Modèle de provisionnement sur données détaillées en assurance non-vie*, Mémoire d'actuariat, ENSAE.
- [7] BONTOUX A. (2007), *Les rentes en assurance et en réassurance non-vie : ce qu'il faut savoir*, Swiss Re.
- [8] CCR (Caisse Centrale de Réassurance) (2013), *RC Corporels Automobile : l'indemnisation des dommages corporels graves en France*, Département études techniques.
- [9] DINTILHAC J.-P. (2005), *Rapport du groupe de travail chargé d'élaborer une nomenclature des préjudices corporels*.
- [10] EIOPA (European Insurance and Occupational Pensions Authority) (2014), *The underlying assumptions in the standard formula for the Solvency Capital Requirement calculation*.
- [11] Fédération Nationale des Victimes de la Route, *Indemnisation des préjudices corporels*.
<http://www.fnvictimesdelaroute.asso.fr/>
- [12] FFSA (Fédération Française des Sociétés d'Assurances) (2015), *Lettre de la Fédération Française des Sociétés des Assurances*, numéro 215.
- [13] HABIB I., RIBAN S. (2012), *Quelle méthode de provisionnement pour des engagements non-vie dans Solvabilité 2 ?*, Mémoire d'actuariat, ENSAE.
- [14] Intranet Arpege, Préjudice Corporel (2013), *Indemnisation des dommages corporels : Recueil méthodologique commun*.
- [15] LE P.-H., VIROT G. (2013), *Méthode d'évaluation stochastique des provisions techniques d'une entreprise d'assurance dommages par une approche ligne par ligne*, Mémoire d'actuariat, ENSAE.
- [16] ONISR (Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière) (2014), *Bilan définitif 2014*.
- [17] Parlement Européen et du Conseil (2009), *Directive 2009/138/CE sur l'accès de l'assurance et de la réassurance et leur exercice (Solvabilité II)*.
- [18] SCOR (2012), *Marché français et RC Automobile : analyse 2011 de l'indemnisation du Corporel Grave*, Newsletter technique.

ANNEXES

ANNEXE 1 : NOMENCLATURE DINTILHAC

PREJUDICES PATRIMONIAUX TEMPORAIRES (AVANT CONSOLIDATION)

Dépenses de santé actuelles (DSA)

Ce sont l'ensemble des frais hospitaliers, médicaux, paramédicaux et pharmaceutiques médicalement justifiés et exposés par la victime jusqu'à la date de consolidation médicale des blessures. 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. A réception d'informations, le montant à provisionner doit être évalué sur la base du tarif des prestations en fonction des établissements et des régions concernées.

Frais divers (FD)

Ce sont 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 (notamment les honoraires de médecins, spécialistes ou non, pour se faire conseiller et assister à l'occasion de l'expertise médicale la concernant). Les frais de transport survenus durant la maladie traumatique, dont le coût et le surcoût sont imputables à l'accident, sont retenus, au titre de ce poste, ainsi que 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.).

Perte de Gains Professionnels actuels (PGPA)

Ce sont les pertes de gains liées à l'incapacité provisoire de travail. Il s'agit de compenser une invalidité temporaire spécifique qui concerne uniquement les répercussions du dommage sur la sphère professionnelle de la victime jusqu'à sa consolidation. L'évaluation judiciaire ou amiable de ces pertes de gains doit être effectuée *in concreto* au regard de la preuve d'une perte de revenus établie par la victime jusqu'au jour de la consolidation. La provision de ce poste est calculée de la façon suivante : provision = base de revenus * durée de l'incapacité de travail.

Assistance Tierce Personne (ATP)

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. La provision est calculée de la façon suivante : provision = coût horaire * nombre d'heures par semaine * nombre de semaines.

PREJUDICES PATRIMONIAUX PERMANENTS (APRES CONSOLIDATION)

Dépenses de Santé Futures (DSF)

Ce sont les frais hospitaliers, médicaux, pharmaceutiques, paramédicaux, même occasionnels mais médicalement prévisibles, répétitifs et rendus nécessaires par l'état pathologique permanent et chronique de la victime après sa consolidation définitive. Ce sont :

- les frais liés à des hospitalisations périodique dans un établissement de santé, à un suivi médical assorti d'analyses, à des examens et des actes périodiques, à des soins infirmiers ou autres frais occasionnels
- les frais liés à l'installation de prothèses pour les membres, les dents, les oreilles ou les yeux
- la pose d'appareillages spécifiques qui sont nécessaires afin de suppléer le handicap physiologique permanent qui demeure après la consolidation

Le coût provisionnel pour ce poste doit être constitué dès l'ouverture du dossier et anticiper l'ensemble des frais qui seront prévisibles dans l'avenir en fonction notamment de la gravité des blessures et de la durée prévisible de l'hospitalisation : consultations de médecins, frais paramédicaux, examens, médicaments, matériels de soins, hospitalisations, appareillages. 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. Pour les frais futurs occasionnel (frais d'ostéosynthèse, etc.) qui ne sont pas renouvelables et ne doivent donc pas être capitalisés, l'évaluation doit anticiper sur l'augmentation future de l'indice des frais de soins. On a : provision = coût annuel des frais ou annuité de l'appareil * prix de l'euro de rente à l'âge de la victime.

Pertes de gains professionnels futurs (PGPF)

Il s'agit 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 sa sphère professionnelle à la suite de son dommage. Il s'agit d'indemniser 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, soit de l'obligation pour celle-ci d'exercer un emploi à temps partiel à la suite du dommage consolidé. L'évaluation s'effectue sur la base de pertes de revenus annuelles nettes prouvées ou estimées : les bases d'évaluation peuvent s'inspirer des règles recommandées pour les pertes de gain actuelles. Son montant est calculé :

- pour la période de la consolidation à la liquidation prévisible : il s'agit d'arrérages échus qui seront payés sous forme de capital
- pour la période postérieure à la date présumée de liquidation : par capitalisation des pertes de revenus sur la base de la table viagère

On a : provision = pertes de revenus annuelles nettes * prix de l'euro de rente à l'âge de la victime à la liquidation.

Ce poste indemnise également la perte de retraite que la victime va devoir supporter en raison de son handicap, c'est-à-dire, le déficit de revenus futurs, imputable à l'accident, qui aura une incidence sur le montant de la retraite auquel pourra prétendre la victime au moment de sa prise de retraite. Concernant les jeunes victimes ne percevant pas à la date de l'accident de revenus 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 en fonction du niveau d'études et/ou du milieu socio-familial. Pour les jeunes victimes qui ne pourront jamais travailler, ce poste de préjudice sera provisionné en fonction du montant annuel du SMIC. On a : provisions = montant annuel brut de SMIC * prix de l'euro de rente viagère. Pour les jeunes victimes ne pouvant exercer qu'une activité professionnelle partielle, le montant du SMIC sera affecté d'un pourcentage selon la réduction de leur capacité professionnelle.

Incidence professionnelle (IP)

Ce poste d'indemnisation complète celle, éventuellement, déjà retenue pour la victime au titre du poste « Pertes de gains professionnelles futures ». Il n'y a pourtant pas double emploi entre ces deux postes de préjudices. 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. Ces incidences périphériques sont :

- le préjudice subi par la victime en raison de sa dévalorisation sur le marché du travail
- la perte de chance professionnelle
- l'augmentation de la pénibilité de l'emploi occupé
- la nécessité pour la victime de devoir abandonner la profession qu'elle exerçait avant l'accident, contre une autre profession qu'elle a dû choisir eu égard à son handicap
- les frais de reclassement professionnel, de formation ou changement de poste

Ce poste de préjudice 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 en retraite. Mais si les pertes de gain professionnel 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. Ces diverses incidences sont appréciées et évaluées au cas par cas eu égard à l'âge, la formation, la profession de la victime et des séquelles prévisibles de ses blessures.

Préjudice scolaire, universitaire ou de formation (PSU)

Ce poste de préjudice à caractère patrimonial a pour objet d'indemniser la perte d'années d'études que ce soit scolaires, universitaires consécutive à la survenance de l'accident. Il comprend non seulement le retard scolaire ou de formation subi, mais aussi une possible modification d'orientation, voire une renonciation à toute formation qui obère gravement l'intégration de la victime dans le monde du travail.

Assistance par tierce personne (ATP)

Ces dépenses sont liées à l'assistance permanente d'une tierce personne pour aider la victime handicapée à effectuer les actes de la vie quotidienne. 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 ». Il convient de faire une évaluation distincte :

- des arrérages échus calculés jusqu'à la date présumée de règlement du préjudice de la victime
- des arrérages à échoir calculés à compter de la date susvisée

Frais de logement adapté (FLA)

Ces dépenses concernent les frais que doit supporter la victime directe à la suite de son dommage corporel pour adapter son logement à son handicap et bénéficier ainsi d'un habitat en adéquation avec ce handicap. Cette indemnisation intervient sur la base de factures, de devis ou même des conclusions du rapport de l'expert spécialisé sur la nature et le montant des travaux nécessaires à la victime pour vivre dans son logement. 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, dans l'hypothèse où son logement habituel est de type foyer ou maison médicalisée, ce poste de préjudice peut intégrer, également, les frais d'aménagement nécessaires pour que la victime handicapée puisse disposer d'un autre lieu de vie.

Frais de véhicule adapté (FVA)

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 surcoûts liés 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 donc 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 survenus depuis le dommage.

PREJUDICES EXTRA PATRIMONIAUX (AVANT CONSOLIDATION)

Déficit fonctionnel temporaire (DFT)

Ce poste de préjudice vise à indemniser l'incapacité fonctionnelle totale ou partielle subie par la victime 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 déjà réparée au titre du poste « Pertes de gains professionnelles actuels ». Cette invalidité temporaire 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 (SE)

Il s'agit de toutes les souffrances physiques et psychiques 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. Près de deux tiers des victimes avec IPP présentent un degré de souffrances physiques, psychiques et des troubles associés endurés du jour de l'accident à celui de la consolidation compris entre 2 et 3. L'échelle est graduée de 0 (absence de souffrances) à 7 (souffrances très importantes). Sur l'ensemble des victimes, le degré de souffrances augmente en moyenne avec le taux d'IPP. Cependant, le lien entre ces deux grandeurs reste faible. A degré égal de souffrances endurées, l'indemnisation augmente avec le taux d'IPP. Il existe une forte dispersion qui s'explique par la présence de dossiers de victimes gravement handicapées dont l'appréciation du préjudice ne peut être menée qu'au cas par cas.

Préjudice esthétique temporaire (PET)

Durant la maladie traumatique, la victime subit bien souvent des atteintes physiques, voire une altération de son apparence physique, certes temporaire, mais aux conséquences personnelles, liées à la nécessité de se présenter dans un état physique altéré au regard des tiers. Il doit être apprécié et évalué *in concreto* en tenant compte de tous les paramètres individuels de la victime (âge, sexe, situation professionnelle, durée du préjudice). Le préjudice esthétique (ensemble de disgrâces physiques, cicatrices ou déformations majeures imputables à l'accident et persistantes après la consolidation) est évalué selon une échelle allant de 0 (absence de préjudice) à 7 (préjudice très important).

PREJUDICES EXTRA PATRIMONIAUX PERMANENTS (APRES CONSOLIDATION)

Déficit Fonctionnel Permanent (DFP)

Ce poste de préjudice indemnise 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. A ce titre, sont indemnisés :

- les atteintes aux fonctions physiologiques de la victime
- la douleur permanente qu'elle ressent
- la perte de la qualité de la vie
- les troubles dans les conditions d'existence dans le quotidien après consolidation
- la perte d'autonomie personnelle qui vit la victime dans ses activités journalières
- tous les déficits fonctionnels spécifiques qui demeurent après la consolidation

On a : provision = taux de DFP (qui dépend du taux de DFP et de l'âge de la victime) * valeur du point correspondant au taux aggravé.

Préjudice esthétique permanent (PEP)

Ce poste de préjudice vise à réparer les atteintes physiques et plus généralement les éléments de nature à altérer l'apparence physique de la victime, notamment le fait de devoir se présenter avec une cicatrice permanente sur le visage.

Préjudice d'agrément (PA)

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. Il doit être apprécié et évalué *in concreto* en tenant compte de tous les paramètres individuels de la victime.

Préjudice sexuel (PS)

Il convient de distinguer 3 types de préjudices sexuels :

- 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
- le préjudice lié à une impossibilité ou à une difficulté à procréer

Préjudice d'établissement (PE)

Ce poste de préjudice indemnise la perte d'espoir, de chance ou de toute possibilité de réaliser un projet de la vie familiale «normale» en raison de la gravité du handicap permanent dont reste atteinte la victime après consolidation : il s'agit de la perte d'une chance de se marier, de fonder une famille, d'élever des enfants

Préjudice permanents exceptionnels (PPE)

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. Ainsi, il existe des préjudices extrapatrimoniaux permanents qui prennent une résonance toute particulière soit en raison de la nature des victimes, soit en raison de la nature des victimes, soit en raison des circonstances ou de la nature de l'accident à l'origine du dommage.

ANNEXE 2 : AJUSTEMENT D'UNE LOI SUR LES MONTANTS D'OUVERTURE DES SINISTRES TARDIFS

Descriptive Statistics for Variable ouverture	
Number of Observations	678
Number of Observations Used for Estimation	678
Minimum	53.35
Maximum	7073726.53
Mean	474495.733
Standard Deviation	1025947.663

Distribution	Description
Burr	3 Burr Distribution
Exp	1 Exponential Distribution
Gamma	2 Gamma Distribution
Gpd	2 Generalized Pareto Distribution
Igauss	2 Inverse Gaussian Distribution
Logn	2 Lognormal Distribution
Pareto	2 Pareto Distribution
Weibull	2 Weibull Distribution

Model Selection Table			
Distribution	Converged	-2 Log Likelihood	Selected
Burr	Yes	18316	No
Exp	Yes	19079	No
Gamma	Yes	18399	No
Gpd	Yes	18385	No
Igauss	Yes	18941	No
Logn	Yes	18298	Yes
Pareto	Yes	18655	No
Weibull	Maybe	18324	No

All Fit Statistics Table							
Distribution	-2 Log Likelihood	AIC	AICC	BIC	KS	AD	CvM
Burr	18316	18322	18322	18336	3,03959	52,91980	2,21629
Exp	19079	19081	19081	19085	7,66974	336,35732	31,13783
Gamma	18399	18403	18403	18412	2,68669 *	54,85055	2,92081
Gpd	18385	18389	18389	18398	3,56987	71,69619	4,87343
Igauss	18941	18945	18945	18954	9,46721	192,10863	27,74262
Logn	18298	* 18302 *	* 18302 *	* 18311 *	3,04709	57,73929	2,98911
Pareto	18655	18659	18659	18668	6,48265	196,72232	14,81986
Weibull	18324	18328	18328	18337	2,77043	49,54502 *	1,74637 *

FIGURE 5.13 – Test sur l'ajustement des différentes lois usuelles sur notre échantillon

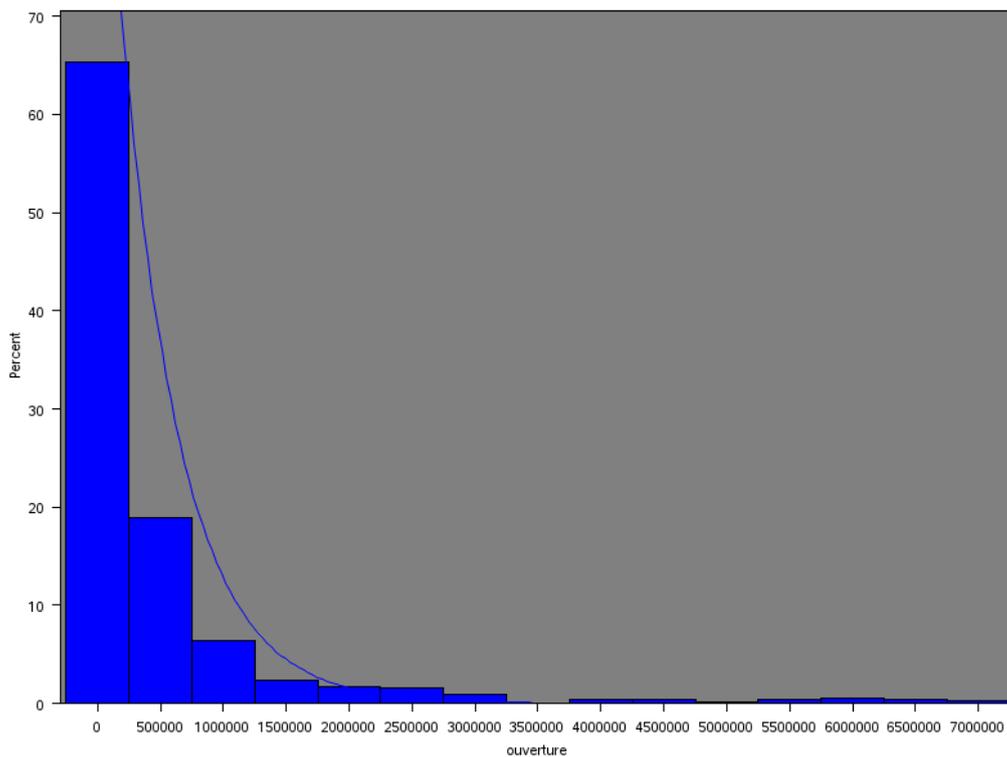


FIGURE 5.14 – Distribution de la loi lognormale par rapport à notre échantillon

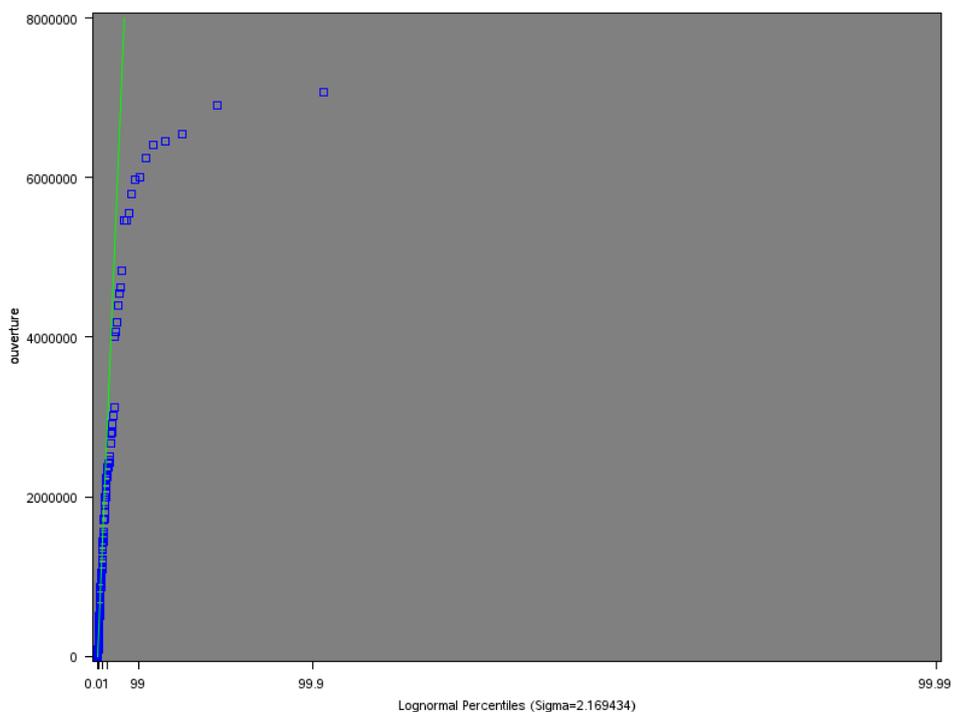


FIGURE 5.15 – Quantiles de la distribution lognormale par rapport aux quantiles de l'échantillon

ANNEXE 3 : COEFFICIENTS DE PASSAGE LORS DE L'EVALUATION DE LA PART EN RENTE

Age	2,5% à 3,5%	TD à TH	Age	2,5% à 3,5%	TD à TH	Age	2,5% à 3,5%	TD à TH	Age	2,5% à 3,5%	TD à TH
1	0,7880	0,8115	31	0,8388	0,9022	61	0,9079	1,1072	91	0,9716	1,2552
2	0,7894	0,8134	32	0,8409	0,9064	62	0,9104	1,1162	92	0,9729	1,2310
3	0,7908	0,8156	33	0,8429	0,9108	63	0,9128	1,1254	93	0,9742	1,1915
4	0,7922	0,8179	34	0,8450	0,9153	64	0,9153	1,1348	94	0,9756	1,1409
5	0,7937	0,8203	35	0,8472	0,9199	65	0,9178	1,1444	95	0,9769	1,0792
6	0,7951	0,8227	36	0,8493	0,9247	66	0,9203	1,1543	96	0,9782	0,9964
7	0,7966	0,8252	37	0,8515	0,9297	67	0,9228	1,1647	97	0,9795	0,8523
8	0,7981	0,8278	38	0,8537	0,9348	68	0,9253	1,1750	98	0,9806	0,6103
9	0,7996	0,8305	39	0,8559	0,9401	69	0,9277	1,1860	99	0,9816	0,1339
10	0,8012	0,8332	40	0,8581	0,9456	70	0,9302	1,1970	100	0,9826	0,9826
11	0,8027	0,8360	41	0,8603	0,9513	71	0,9326	1,2082	101	0,9837	0,9837
12	0,8043	0,8389	42	0,8626	0,9572	72	0,9350	1,2190	102	0,9849	0,9849
13	0,8059	0,8419	43	0,8649	0,9633	73	0,9374	1,2298	103	0,9864	0,9864
14	0,8076	0,8450	44	0,8672	0,9694	74	0,9397	1,2404	104	0,9883	0,9883
15	0,8092	0,8481	45	0,8695	0,9757	75	0,9421	1,2515	105	0,9903	0,9903
16	0,8109	0,8513	46	0,8718	0,9824	76	0,9443	1,2621			
17	0,8126	0,8544	47	0,8741	0,9894	77	0,9466	1,2731			
18	0,8143	0,8575	48	0,8765	0,9968	78	0,9488	1,2831			
19	0,8160	0,8606	49	0,8788	1,0044	79	0,9509	1,2921			
20	0,8178	0,8636	50	0,8812	1,0122	80	0,9530	1,3006			
21	0,8196	0,8666	51	0,8836	1,0203	81	0,9550	1,3086			
22	0,8214	0,8697	52	0,8860	1,0286	82	0,9569	1,3131			
23	0,8232	0,8728	53	0,8884	1,0371	83	0,9588	1,3160			
24	0,8251	0,8760	54	0,8908	1,0456	84	0,9607	1,3171			
25	0,8270	0,8794	55	0,8932	1,0542	85	0,9624	1,3157			
26	0,8289	0,8829	56	0,8956	1,0628	86	0,9641	1,3140			
27	0,8308	0,8865	57	0,8981	1,0716	87	0,9658	1,3115			
28	0,8328	0,8903	58	0,9005	1,0806	88	0,9673	1,3059			
29	0,8348	0,8941	59	0,9030	1,0894	89	0,9688	1,2939			
30	0,8368	0,8981	60	0,9054	1,0983	90	0,9702	1,2771			