

**INSEA**

## Projet de Fin d'Etudes

\*\*\*\*\*

### Evaluation du Risk Adjustment dans le cadre de l'IFRS 17

Préparé par : *Mme Yasmine AKHITTOUCH*

Sous la direction de : *M. Khalil SAID (INSEA)*  
*M. Anas STITOU (Société Centrale de Réassurance)*  
*M. Sami BENHADDI (Société Centrale de Réassurance)*

*Soutenu publiquement comme exigence partielle en vue de l'obtention du*

## Diplôme d'Ingénieur d'Etat

Filière : Actuariat - Finance

*Devant le jury composé de :*

- *M. Anas STITOU (Société Centrale de Réassurance)*
- *M. Khalil SAID (INSEA)*
- *M. Hicham JANATI (INSEA)*



# Remerciements

À l'issue de la rédaction de ce rapport de stage, il me tient à cœur d'exprimer ma profonde gratitude à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à son élaboration. Je souhaite leur témoigner ici mes plus vifs respects et ma reconnaissance infinie.

Je tiens tout particulièrement à remercier chaleureusement toute l'équipe ERM de la SCR (Société Centrale de Réassurance) pour leur accueil bienveillant et leur soutien constant durant toute la durée de mon stage. Leur gentillesse et leur disponibilité ont grandement enrichi mon expérience professionnelle.

Mes plus sincères remerciements vont à mes deux encadrants, Anas Stitou et Sami Benhaddi, pour leur précieuse guidance, leurs conseils avisés et leur présence rassurante. Leur expertise et leur encadrement ont été d'une aide inestimable dans la réalisation de ce travail.

Je souhaite également exprimer toute ma reconnaissance à Monsieur Said KHALIL, mon tuteur à l'INSEA, pour son soutien infaillible et ses encouragements tout au long de cette expérience professionnelle enrichissante.

Enfin, je dédie ce rapport à ma famille, mes parents, mon frère, ma sœur, ainsi qu'à mes amis, pour leur soutien indéfectible et leurs encouragements qui ont été essentiels à la réussite de ce stage.

# Dédicaces

À mes précieux parents,

Pour leurs innombrables sacrifices, leur amour inconditionnel et leur éducation  
bienveillante qui ont forgé la personne que je suis aujourd'hui.

À mon frère Achraf et ma soeur Sahar,

Pour leur soutien constant et leurs encouragements qui ont été une source de force et  
d'inspiration.

À mes amis,

Pour les souvenirs précieux et les moments inoubliables que nous avons partagés ensemble.

Et enfin, à vous, chers lecteurs,

Pour votre attention et votre intérêt envers ce travail.

# Résumé

Le mémoire examine la norme IFRS 17, qui entrera en vigueur le 1er janvier 2025 et modifie la comptabilisation des contrats d'assurance en introduisant une évaluation économique des passifs. Destinée à uniformiser les méthodes d'évaluation des contrats d'assurance à l'échelle mondiale, cette norme représente un défi significatif pour les entreprises du secteur, notamment la Société Centrale de Réassurance (SCR). L'un des enjeux de cette norme est le choix de la méthode de modélisation de l'ajustement pour risque (Risk Adjustment, RA), qui vise à couvrir les incertitudes des risques non financiers sur les flux de trésorerie futurs, car l'IAA (International Actuarial Association) ne prescrit aucune méthode obligatoire pour son calcul.

Pour répondre à cette problématique, le mémoire propose une analyse détaillée des implications et des principes de la norme IFRS 17, avec un accent particulier sur le concept d'ajustement pour risque. Il examine deux méthodes de mesure du RA proposées par l'IAA : l'approche VaR, une approche par risque, et l'approche du coût du capital. Le mémoire offre une perspective critique sur la pertinence et la fiabilité de ces approches, soulignant l'importance d'une évaluation rigoureuse pour assurer la conformité et la pertinence des informations financières dans le secteur de l'assurance. En conclusion, ce travail vise à fournir une compréhension approfondie des enjeux de la norme IFRS 17 et à proposer des recommandations pour la mise en œuvre efficace du RA par la Société Centrale de Réassurance.

## Mots-clés :

Réassurance non-vie, Provisionnement, IFRS 17, Solvabilité 2, Ajustement pour risque, Marge de risque, Courbe de taux, Modèle de Mack

# Abstract

The thesis examines IFRS 17, which will come into effect on January 1, 2025, and changes the accounting of insurance contracts by introducing an economic evaluation of liabilities. Intended to standardize the evaluation methods of insurance contracts worldwide, this standard represents a significant challenge for companies in the sector, particularly the Société Centrale de Réassurance (SCR). One of the issues of this standard is the choice of the method for modeling the risk adjustment (RA), which aims to cover the uncertainties of non-financial risks on future cash flows, as the International Actuarial Association (IAA) does not prescribe any mandatory or specific method for its calculation.

To address this issue, the thesis provides a detailed analysis of the implications and principles of IFRS 17, with a particular focus on the concept of risk adjustment. It examines two methods for measuring the RA proposed by the IAA : the VaR approach, a risk-based approach, and the cost of capital approach. The thesis offers a critical perspective on the relevance and reliability of these approaches, emphasizing the importance of a rigorous evaluation to ensure the compliance and relevance of financial information in the insurance sector. In conclusion, this work aims to provide a comprehensive understanding of the issues related to IFRS 17 and to propose recommendations for the effective implementation of the RA by the Société Centrale de Réassurance.

## **Keywords :**

Non-life reinsurance, Reserving, IFRS 17, Solvency II, Risk adjustment, Risk margin, Risk margin, Yield curve, Mack model

# Liste des abréviations

## **B**

BBA : Building Blocks Approach

BE : Best Estimate

## **C**

CoC : Cost of Capital

CSM : Contractual Service Margin

EIOPA

EIOPA : European Insurance and Occupational Pensions Authority

## **I**

IAIS : International Association of Insurance Supervisors

IASC : International Accounting Standards Committee

IAS : International Accounting Standards

IASB : International Accounting Standards Board

IAA : International Actuarial Association

IFRS : International Financial Reporting Standards

## **L**

LIC : Liabilities for Incurred Claims

LRC : Liability for Remaining Coverage

## **P**

PAA : Premium Allocation Approach

## **R**

RA : Risk Adjustment

RM : Risk Margin

## **V**

Variable Fee Approach

# Table des matières

|  |           |
|--|-----------|
| Remerciements  | 1         |
| Dédicaces  | 2         |
| Résumé   | 3         |
| Abstract   | 4         |
| Liste des abréviations   | 5         |
| <b>Liste des figures</b>   | <b>10</b> |
| <b>Introduction</b>  | <b>12</b> |
| <b>Chapitre 1 : Contexte général et Cadre Réglementaire de l'étude</b>           | <b>14</b> |
| I. Présentation de l'organisme d'accueil : Société Centrale de Réassurance (SCR) | 15        |
| I.1. Fondation et Évolution Historique   | 15        |
| I.2. Positionnement et Reconnaissance Mondiale                                   | 15        |
| I.3. Infrastructure et Développement Stratégique                                 | 15        |
| I.4. Contributions au Marché Marocain et International                           | 16        |
| II. Spécificités de la réassurance   | 16        |
| II.1. Notion de la réassurance   | 16        |
| II.2. Types de contrats de réassurance   | 17        |
| III. Principe de la norme IFRS 17  | 21        |
| III.1. Périmètre d'application   | 22        |
| III.2. Définition d'un contrat d'assurance                                       | 22        |
| III.3. Séparation des contrats d'assurance                                       | 23        |
| III.4. Niveau d'agrégation des contrats  | 24        |
| III.5. Approches de comptabilisation sous IFRS 17                                | 25        |
| <b>Chapitre 2 : Focus sur le RA</b>  | <b>33</b> |
| I. Principe du Risk Adjustment   | 34        |

|   |           |
|---|-----------|
| II. Comparaison avec Solvabilité 2 . . . . .                                      | 35        |
| III. Techniques de mesure du Risk Adjustment . . . . .                            | 37        |
| III.1. Value-at-Risk . . . . .  | 37        |
| III.2. Mesure par coût du capital . . . . .                                       | 38        |
| IV. Modélisation du Risk Adjustment . . . . .                                     | 40        |
| IV.1. Modélisation de la charge ultime . . . . .                                  | 40        |
| IV.2. Calcul du Risk Adjustment via la métrique du quantile . . . . .             | 44        |
| IV.3. Calcul du Risk Adjustment via le coût du capital . . . . .                  | 45        |
| <b>Chapitre3 : Implémentation pratique du calcul du RA pour un portefeuille</b>   |           |
| <b>non-vie de la SCR</b>  | <b>46</b> |
| I. Présentation du portefeuille étudié . . . . .                                  | 47        |
| I.1. Traitement de la base de données . . . . .                                   | 48        |
| I.2. Hypothèses de travail . . . . .  | 50        |
| II. Modélisation de l'ajustement pour risque (RA) . . . . .                       | 51        |
| II.1. Estimation de la distribution de la charge ultime des sinistres . . . . .   | 52        |
| II. 2. Calcul du Risk Adjustment via la métrique du quantile . . . . .            | 64        |
| II.3. Méthode Coût du Capital . . . . .   | 67        |
| III. Méthodes de calcul du RA :Comparaisons . . . . .                             | 69        |
| III.1. Risque de provisionnement . . . . .  | 69        |
| III.2. Comparaison des CDR et ajustements pour risque . . . . .                   | 71        |
| III.3. Mise en évidence de l'effet de la mutualisation . . . . .                  | 74        |
| <b>Conclusion</b>   | <b>78</b> |
| <b>Bibliographie</b>  | <b>79</b> |
| <b>Annexes</b>  | <b>82</b> |
| <b>A</b>  | <b>83</b> |
| Annexe A : Code nettoyage de la base de données . . . . .                         | 83        |
| <b>B</b>  | <b>85</b> |
| Annexe B : Code pour le calcul du RA pour chaque triangle (méthode VAR) . . . . . | 85        |

|                                      |           |
|--------------------------------------|-----------|
| <b>C</b>                             | <b>91</b> |
| Annexe C : Courbe des taux . . . . . | 91        |

# Table des figures

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Traité en Quote-Part  | 18 |
| 2  | Traité en Excédent de Plein   | 19 |
| 3  | Traité en Excédent de sinistre 8 XS 2   | 20 |
| 4  | Traité en Excédent de Perte Annuelle " 30% XS 90%"  | 21 |
| 5  | Synthèse des modèles comptables   | 23 |
| 6  | Niveau d'agrégation : Notion de Groupe de contrats sous IFRS 17                                 | 24 |
| 7  | Synthèse des modèles comptables   | 25 |
| 8  | Modèle général - Building Block Approach  | 26 |
| 9  | Subsequent Measurement : Décomposition du passif  | 27 |
| 10 | Impacts des changements d'hypothèses sur la CSM   | 28 |
| 11 | Définition de la LRC en PAA   | 29 |
| 12 | Cas des contrats onerous en PAA   | 30 |
| 13 | Subsequent Measurement de la LRC en PAA   | 31 |
| 14 | Ecart entre flux réels et flux estimés  | 34 |
| 15 | SCR en non-vie  | 38 |
| 16 | Modèles de modélisation de la charge ultime   | 40 |
| 17 | Triangle de développement   | 41 |
| 18 | Présentation de la base de données des règlements et des charges (données<br>falcifiées)        | 48 |
| 19 | Nombre de valeurs négatives ou nulles pour les règlements et charges dans<br>la base de données | 48 |
| 20 | Étapes pour construire la maille IFRS 17  | 50 |
| 21 | Passage de l'année 1 à l'année 2  | 53 |
| 22 | Passage de l'année 2 à l'année 3  | 53 |
| 23 | Passage de l'année 3 à l'année 4  | 53 |
| 24 | Passage de l'année 4 à l'année 5  | 53 |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 25 | Passage de l'année 5 à l'année 6   | 53 |
| 26 | Passage de l'année 6 à l'année 7   | 53 |
| 27 | Passage de l'année 7 à l'année 8   | 53 |
| 28 | Passage de l'année 8 à l'année 9   | 53 |
| 29 | Passage de l'année 9 à l'année 10  | 53 |
| 30 | Vérification de l'indépendance des facteurs de développement pour GOC 11 | 54 |
| 31 | Résidus de Pearson pour GOC 11   | 55 |
| 32 | Courbe de taux   | 61 |
| 33 | Liste des sigma reserves pour les groupes de contrats étudiés            | 67 |
| 34 | Ajustement pour risque en fonction du coût du capital pour GOC 11        | 69 |

# Liste des tableaux

|    |   |    |
|----|---|----|
| 2  | Groupes de contrats restants . . . . .  | 49 |
| 3  | Triangle des charges pour le GOC 11 (Données falsifiées) . . . . .  | 49 |
| 4  | Triangle des charges pour le GOC 11 (Données falsifiées) . . . . .  | 52 |
| 5  | Facteur de développement pour GOC 11 . . . . .  | 56 |
| 6  | Triangle des charges pour le GOC 11 (Données falsifiées) . . . . .  | 56 |
| 7  | Best estimate par année de souscription ( Résultats des données falsifiées) . . . . .   | 57 |
| 8  | Flux de trésorerie futurs non actualisés ( Résultats des données falsifiées) . . . . .  | 57 |
| 9  | Taux moyens pondérés -BAM- . . . . .  | 58 |
| 10 | Taux actuariels interpolés et Taux Z-C . . . . .  | 60 |
| 11 | Estimation des paramètres $(\sigma_j)$ ( $j = 1, \dots, n - 1$ ) . . . . .  | 63 |
| 12 | Mesures de risque conditionnel de prédiction ( Résultats des données falsifiées) . . . . .  | 63 |
| 13 | RA par année de souscription du GOC11 pour les niveaux de confiance<br>65%, 70%, et 75% ( Résultats des données falsifiées) . . . . . | 64 |
| 14 | RA par année de souscription du GOC11 pour les niveaux de confiance<br>80%, 85%, et 90% ( Résultats des données falsifiées) . . . . . | 65 |
| 15 | RA global du GOC 11 ( Résultats des données falsifiées) . . . . .   | 65 |
| 16 | Calcul des SCR(t) pour GOC11 (Résultats des données falsifiées) . . . . .   | 68 |
| 17 | Effet de mutualisation pour le groupe des affaires marocaines . . . . .   | 75 |
| 18 | Effet de mutualisation pour le groupe des affaires étrangères . . . . .   | 75 |
| 19 | Effet de mutualisation pour LOB 1 (méthode de quantile) . . . . .   | 76 |
| 20 | Effet de mutualisation pour LOB 2 (méthode de quantile) . . . . .   | 76 |
| 21 | Effet de mutualisation pour LOB 3 (méthode de quantile) . . . . .   | 76 |
| 22 | Effet de mutualisation pour LOB 4 (méthode de quantile) . . . . .   | 77 |
| 23 | Effet de mutualisation pour LOB 5 (méthode de quantile) . . . . .   | 77 |
| 24 | Effet de mutualisation pour les 5 LOB (méthode du coût du capital) . . . . .  | 77 |

# Introduction

L'industrie de l'assurance est en pleine transformation avec l'introduction de la norme IFRS 17 par l'International Accounting Standards Board (IASB) en mai 2017, dont l'application est prévue pour le 1er janvier 2025. Cette norme révolutionne la comptabilisation des contrats d'assurance en introduisant une évaluation économique du passif d'assurance. Cette évaluation vise à accroître la transparence financière et à harmoniser les pratiques comptables des compagnies d'assurance à l'échelle mondiale. Ainsi, IFRS 17 représente un défi majeur pour les entreprises du secteur, notamment pour la Société Centrale de Réassurance (SCR), qui doit s'adapter à ces nouvelles exigences.

L'objectif principal de la norme IFRS 17 est d'assurer la comparabilité des informations financières des compagnies d'assurance à l'international. Elle impose la présentation de la valeur actuelle des passifs d'assurance, reflétant les conditions du marché à la date de reporting, et cherche à réduire les écarts entre les actifs et les passifs. Cette refonte complète vise à offrir une transparence financière accrue, essentielle pour les investisseurs et autres parties prenantes.

Une composante essentielle de cette nouvelle norme est l'ajustement pour risque (Risk Adjustment, RA), qui vise à couvrir les effets d'incertitude sur les flux de trésorerie futurs. Le RA constitue une réserve supplémentaire pour se prémunir contre des résultats moins favorables que prévu. Cependant, la diversité des approches proposées pour mesurer le RA, pose des questions quant à la pertinence et à la fiabilité de ces mesures. Ce choix de méthode de mesure représente une problématique majeure pour les entreprises du secteur.

Le domaine de la réassurance présente des spécificités particulières dans l'implémentation de la norme IFRS 17. En effet, les contrats de réassurance, par leur nature, diffèrent des contrats d'assurance directs. Ils impliquent des risques diversifiés et souvent plus graves, nécessitant des ajustements spécifiques dans le cadre de l'évaluation économique imposée par IFRS 17.

Ce rapport se propose d'analyser en profondeur les nouveautés introduites par la norme IFRS 17, en mettant un accent particulier sur le concept d'ajustement pour risque (Risk Adjustment, RA). Nous examinerons deux approches différentes de mesure du RA, telles que l'approche Value at Risk (VaR), une approche par risque et l'approche du Coût du capital, afin d'évaluer leur pertinence pour assurer la conformité et la fiabilité des informations financières. Ce processus comprendra un passage par le provisionnement et la construction de la courbe de taux d'actualisation, deux éléments cruciaux pour une application rigoureuse de la norme.

Le premier chapitre offrira un aperçu général du contexte de l'étude, comprenant une présentation de l'organisme d'accueil, la Société Centrale de Réassurance (SCR). Nous examinerons ensuite le secteur de la réassurance, en mettant en lumière les spécificités de ses contrats, avant de passer en revue les principes fondamentaux de la norme IFRS 17.

Le deuxième chapitre sera consacré à la notion de Risk Adjustment et à la problématique liée à son calcul. Nous explorerons les différentes méthodes de mesure du RA et discuterons des défis associés à chacune d'elles.

Finalement, le troisième chapitre présentera une implémentation pratique du calcul de l'ajustement pour risque pour un portefeuille non-vie de la Société Centrale de Réassurance. Nous détaillerons le processus suivi et les résultats obtenus, illustrant ainsi l'application concrète des concepts théoriques abordés dans les chapitres précédents.

# Chapitre 1 : Contexte général et Cadre Réglementaire de l'étude

# I. Présentation de l'organisme d'accueil : Société Centrale de Réassurance (SCR)

Avant de plonger dans notre étude, il est essentiel de prendre un moment pour examiner de près l'organisme d'accueil afin de mieux comprendre son impact sur le marché de la réassurance et ses implications dans notre analyse à venir.

## I.1. Fondation et Évolution Historique

La Société Centrale de Réassurance (SCR) est née en 1960 d'une convention entre l'État Marocain et la Caisse de Dépôt et de Gestion (CDG), actionnaire majoritaire avec 94% du capital. Depuis ses débuts dans la réassurance conventionnelle, la SCR a progressé pour devenir un acteur majeur sur la scène internationale.

## I.2. Positionnement et Reconnaissance Mondiale

La SCR bénéficie de notations élevées telles que « B++ Good par AM BEST » et « AAA/stable par Fitch Rating », ce qui la place en tête dans le domaine de la réassurance. Elle occupe une position de leader dans le monde arabe et se classe troisième en Afrique pour les primes souscrites. Présente dans plus de 70 marchés à travers l'Afrique, le Moyen-Orient et l'Asie, elle compte plus de 500 clients, confirmant son envergure internationale.

## I.3. Infrastructure et Développement Stratégique

La construction de la Tour Atlas en 1975 symbolise le siège social emblématique de la SCR, soulignant son engagement durable dans le secteur. Outre son expansion physique au Maroc, la SCR a étendu ses activités à l'international en ouvrant des bureaux stratégiques à Londres, Abidjan, Le Caire, Kigali et Johannesburg. Son intégration à Casablanca Finance City et la création du centre backup SCR témoignent de sa volonté de renforcer ses capacités opérationnelles et de soutenir ses activités mondiales.

## I.4. Contributions au Marché Marocain et International

La SCR remplit plusieurs missions stratégiques :

- **Régulation du Marché** : En tant qu'acteur clé, la SCR joue un rôle essentiel dans la régulation du marché de la réassurance, garantissant ainsi la stabilité et la transparence du secteur.
- **Sécurité face aux Turbulences Internationales** : Elle assure la sécurité et la résilience des compagnies d'assurance face aux fluctuations économiques et politiques mondiales, offrant une protection contre les risques systémiques.
- **Maintien des Primes et Mobilisation de l'Épargne** : La SCR contribue activement au maintien des primes d'assurance à un niveau viable au niveau national, favorisant ainsi la mobilisation de l'épargne et soutenant l'économie nationale.

## II. Spécificités de la réassurance

Étant donné que l'organisme d'accueil est une compagnie de réassurance, il est essentiel d'introduire quelques définitions et notions générales sur la réassurance, ainsi que les spécificités de ses contrats.

### II.1. Notion de la réassurance

La réassurance se matérialise par les services offerts par un réassureur à un assureur, notamment ceux visant à couvrir certains risques que ce dernier préfère ne pas assumer. Cela se concrétise à travers un contrat qui détaille les engagements, les droits et les obligations des deux parties. En règle générale, le réassureur s'engage à prendre en charge une partie des risques techniques de l'assureur moyennant le versement d'une prime de réassurance. Le contrat énonce les conditions techniques définissant l'engagement du réassureur ainsi que les conditions financières régissant les aspects comptables. La réassurance est souvent sollicitée lorsque les assureurs cherchent à transférer une partie de leurs risques afin de limiter leur exposition et leurs besoins en capital. Cette démarche peut être motivée, par exemple, lors du lancement d'un nouveau produit d'assurance ou de l'exploration de nouveaux marchés pour favoriser la croissance et l'innovation tout en maîtrisant les risques. La réassurance doit être envisagée comme un partenariat global

entre un réassureur et un assureur, offrant une gamme de services incluant :

- L'amélioration de la rentabilité du capital de l'assureur ;
- La diminution de l'impact des provisions pour sinistres sur la marge de solvabilité ;
- L'optimisation fiscale ;
- L'aide à la souscription de certains risques ;
- La contribution à la conception de produits ;
- Les conseils et l'expertise en gestion des sinistres graves ;
- L'assistance dans la prévention des risques.

Pour réduire les besoins en capital, atténuer la volatilité des risques et protéger le bilan d'une compagnie d'assurance, diverses formes et types de traités de réassurance ont été développés.

## II.2. Types de contrats de réassurance

La réassurance se subdivise en plusieurs branches (Vie, Non Vie, etc.), chacune se fragmentant en deux modes (Traités ou Facultatifs), ainsi qu'en divers types de contrats de réassurance (XL, XP, SL, etc.). Les Traités englobent l'ensemble du portefeuille d'une cédante dans une sous-branche spécifique, tel que le portefeuille Automobile ou Incendie, par exemple, tandis que les Facultatifs concernent un ou plusieurs risques spécifiques explicitement décrits. Par définition, la réassurance en Traité couvre des montants bien plus conséquents et implique l'acceptation de tous les risques de la sous-branche de la cédante. En revanche, la réassurance en Facultative ne couvre que certains risques sélectionnés, exigeant ainsi une expertise plus poussée et se rapprochant davantage de la souscription en assurance. On distingue la "FAC" (facultative pour la cédante et le réassureur) de la "Facob" (facultative pour la cédante mais obligatoire pour le réassureur). La majorité des contrats ont une durée d'un an, débutant généralement le 1er janvier, le 1er juillet, voire les 1ers avril ou septembre. Chaque année, ces contrats sont renouvelés pendant une période appelée le renouvellement, marquant traditionnellement le pic d'activité chez le réassureur. Pendant le renouvellement, la cédante et/ou son courtier soumettent généralement une offre de réassurance comprenant un type de contrat et des conditions préétablies (parfois en collaboration avec le réassureur apériteur) détaillées dans un document appelé note de couverture (Slip). Les réassureurs proposent alors soit le prix (un taux sur la prime totale du portefeuille), soit la part qu'ils souhaitent prendre dans ce contrat ou programme de

réassurance (taux de cession). La cédante répartit ensuite les parts à chaque réassureur en leur envoyant une note de couverture définitive. Le document contractuel (Wording), détaillant les règles et conditions du contrat de réassurance, n'est envoyé que plus tard, et chaque partie doit le signer.

## II.2.1. La réassurance proportionnelle

On parle de réassurance proportionnelle lorsque l'engagement du réassureur est proportionnel à la prime de réassurance, cela se divise en deux catégories : les traités en quote-part et les traités en excédent de plein.

### II.2.1.1. La Quote-part ou QP

Il s'agit du type de réassurance le plus élémentaire. La prime de réassurance est directement liée à la prime d'assurance selon un taux de cession unique, identique pour toutes les polices d'assurance couvertes par le traité, quelle que soit leur nature. Par exemple, pour un traité en Quote-Part de 50%, l'assureur cède au réassureur 50% des primes du portefeuille concerné par le traité. En retour, le réassureur s'engage à indemniser 50% des montants des sinistres. Les traités en Quote-Part ne modifient pas le profil de risque de l'assureur, mais ajustent son niveau d'engagement de manière proportionnelle. Ainsi, ils présentent peu d'intérêt en termes de couverture de risque.

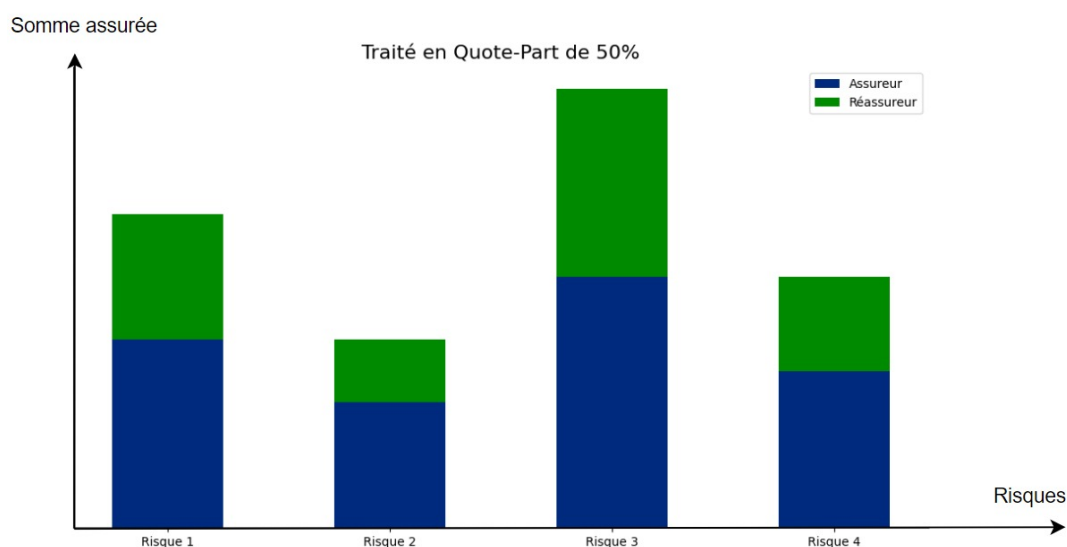


FIGURE 1 – Traité en Quote-Part

### II.2.1.2. L'excédent de Pleins ou XP

Dans ce modèle, l'assureur établit un seuil de somme assurée appelé Plein de Rétention, en dessous duquel il supporte intégralement le risque. En d'autres termes, l'assureur s'engage à indemniser les sinistres jusqu'au Plein de Rétention, tandis que le réassureur intervient pour les montants excédant ce seuil, généralement jusqu'à une limite prédéfinie, au-delà de laquelle la responsabilité revient à nouveau à l'assureur. Le taux de cession, déterminant la part de la prime de réassurance, est ainsi établi pour chaque police d'assurance individuellement. Avec ce type de traités, l'assureur conserve les risques de faible ampleur, ce qui lui permet de limiter les pics d'exposition et d'accroître sa capacité de souscription. Toutefois, outre une gestion plus complexe que pour les traités en Quote-Part, l'inconvénient pour l'assureur est qu'il n'est pas protégé contre le risque de sur-fréquence.

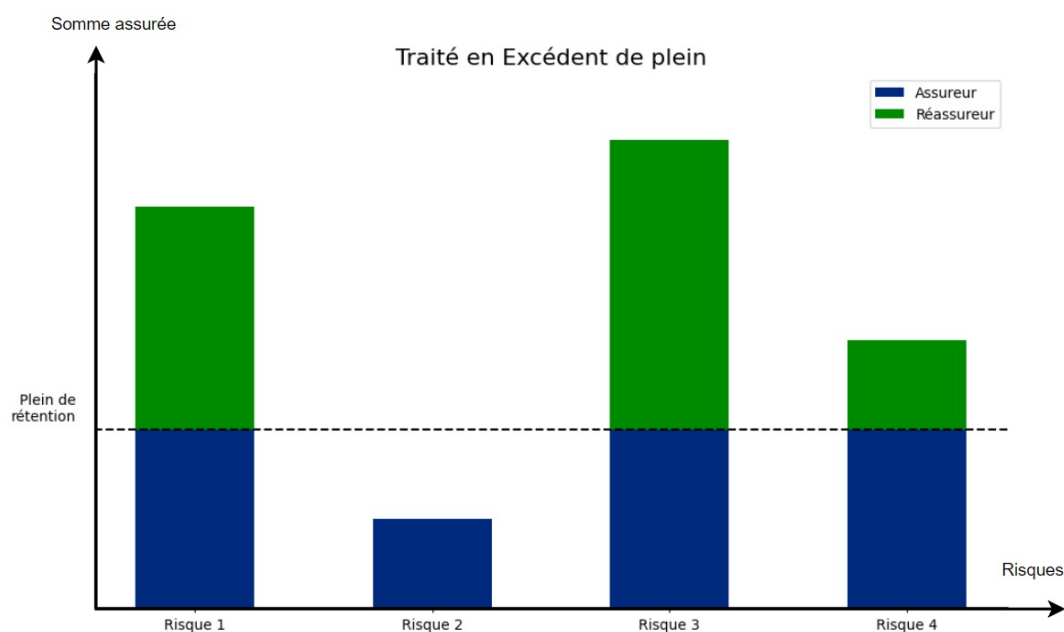


FIGURE 2 – Traité en Excédent de Plein

### II.2.2. La réassurance non-proportionnelle

Pour ces types de traités, la symétrie des engagements entre l'assureur et le réassureur n'est plus respectée. Les obligations de chaque partie sont déterminées en fonction de deux critères indépendants de la prime d'assurance initiale et de la somme assurée du risque. Le premier critère est la franchise ou la priorité, représentant le seuil

en dessous duquel le réassureur n'intervient pas. Le deuxième critère est la portée ou la capacité, définissant le montant maximal de couverture offert par le réassureur. Les deux types de traités non proportionnels qui existent sont les traités en Excédent de Sinistre (Excess of Loss, "XL") et les traités en Excédent de Perte Annuelle (Stop-loss, "SL").

### II.2.2.1. Les traités en Excédent de Sinistre

La part des montants des sinistres dépassant la franchise mais restant dans la limite de la capacité relève de la responsabilité du réassureur. Cette situation se subdivise en deux sous-catégories :

- Excédent de sinistre par Risque : S'applique à chaque sinistre individuel généré par un risque.
- Excédent de sinistre par Évènement : S'applique à l'agrégation des sinistres résultant d'un même évènement générateur.

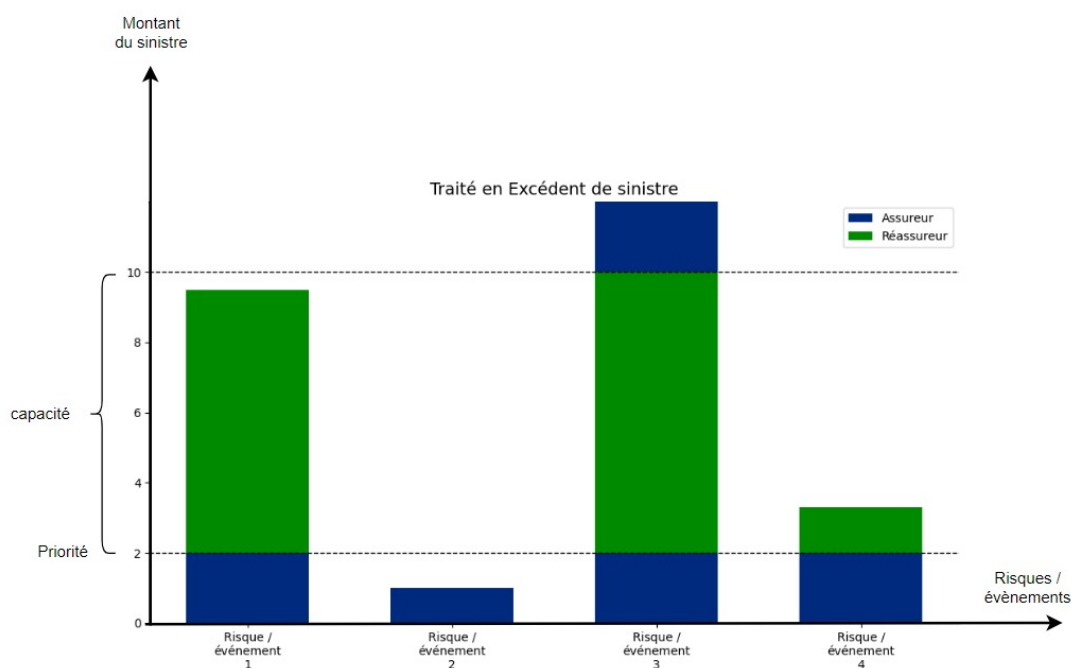


FIGURE 3 – Traité en Excédent de sinistre 8 XS 2

### II.2.2.2. Les traités en Excédent de Perte Annuelle

Pour se protéger contre un excès de perte annuelle, l'assureur souscrit à un Stop-Loss. Cela équivaut à assurer le ratio sinistres/primes (S/P). Un Stop-Loss est généralement défini à l'aide de deux taux, déterminant le seuil et la limite d'intervention

du réassureur. Les traités Stop-Loss sont souvent utilisés pour contrer les problèmes de sur-fréquence. Par exemple, dans un traité 30% SL 90%, le réassureur s'engage à couvrir les pertes annuelles de l'assureur par rapport à un ratio sinistres/primes global de 90%, et ce jusqu'à un niveau de S/P atteignant 120% (90% + 30%).

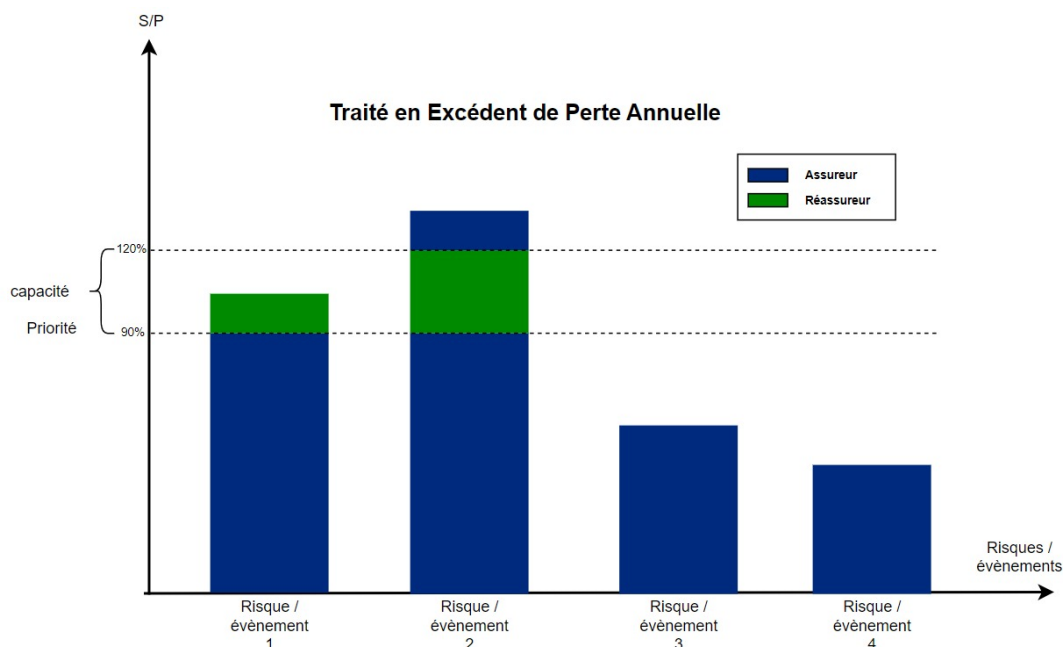


FIGURE 4 – Traité en Excédent de Perte Annuelle " 30% XS 90% "

## II. Principe de la norme IFRS 17

Dans cette section, nous explorerons les principes fondamentaux de la norme IFRS 17, qui marque une avancée majeure dans la comptabilité des contrats d'assurance. Nous traiterons plusieurs aspects essentiels de cette norme, tels que sa méthode rétrospective, ses objectifs et principes directeurs, ainsi que les différentes approches pour l'évaluation des provisions. De plus, nous analyserons l'impact prévu de la norme IFRS 17 sur le bilan des sociétés d'assurance, en mettant en lumière les distinctions et convergences avec la norme Solvabilité 2. Cette étude approfondie offrira un aperçu complet de la norme IFRS 17 et de ses implications spécifiques pour les sociétés opérant dans les secteurs de l'assurance et de la réassurance.

## II.1. Périmètre d'application

La norme IFRS 17 vise à rendre les méthodes de comptabilisation des contrats d'assurance plus uniformes entre les pays, assurant ainsi une meilleure comparabilité entre les compagnies d'assurance. Elle exige la présentation des passifs d'assurance en valeur actuelle, reflétant les conditions du marché au moment du rapport financier, et cherche à aligner les actifs et les passifs pour réduire les écarts. Initialement prévue pour 2021 (reportée à 2025), elle remplace la norme IFRS 4. IFRS 17 améliore la transparence financière des assureurs via des états financiers plus comparables. Elle s'applique aux contrats d'assurance émis ou détenus, ainsi qu'aux contrats d'investissement avec participation discrétionnaire. La norme définit également les contrats d'investissement qui ne relèvent pas de sa portée, établissant ainsi son application à tous les contrats d'assurance.

## II.2. Définition d'un contrat d'assurance

La norme IFRS 17 définit un contrat d'assurance comme un accord où une partie assume un risque significatif pour une autre partie en promettant une indemnisation en cas de préjudice suite à un événement incertain. Lors de l'application de cette norme, l'entité doit considérer ses droits et obligations substantiels, issus de dispositions contractuelles, légales ou réglementaires. L'évaluation d'un contrat inclut ses modalités explicites ou implicites, mais exclut celles sans impact économique. Pour être considéré comme un contrat d'assurance, il faut qu'un contrat présente un risque d'assurance significatif, évalué par l'incertitude sur la probabilité, le moment ou le montant d'un événement assuré. Ce risque peut également découler de contrats rétroactifs. La notion de risque d'assurance exclut les risques financiers, sauf s'ils sont liés à des variables générales telles que les taux d'intérêt ou les prix de marché. Certains contrats combinent des risques financiers et d'assurance, comme les contrats d'assurance épargne vie. Enfin, un risque d'assurance est jugé important s'il peut entraîner des paiements substantiels dans des scénarios commercialement significatifs. La norme ne fournit pas de seuil quantitatif pour déterminer l'importance du risque, afin d'éviter des traitements différents pour des transactions similaires.

## II.3. Séparation des contrats d'assurance

Les contrats d'assurance peuvent inclure différentes composantes relevant potentiellement d'autres normes si chacune était traitée individuellement. Ces composantes peuvent être des dérivés incorporés, des éléments d'investissement ou des services autres que des services d'assurance. IFRS 17 impose à l'assureur d'identifier et de séparer ces composantes dans certaines situations. Une fois séparées, elles doivent être comptabilisées selon les normes IFRS appropriées et non selon IFRS 17. Cette approche permet une meilleure comparabilité des contrats similaires émis séparément et facilite la comparaison des risques entre différentes entités et industries. Ainsi, un assureur doit :

1. Appliquer la norme IFRS 9 pour déterminer et comptabiliser séparément les dérivés incorporés, le cas échéant.
2. Séparer un élément d'investissement du contrat d'assurance uniquement s'il est distinct et le comptabiliser selon IFRS 9, sauf dans le cas de contrats comportant des éléments de participation discrétionnaire.
3. Séparer toute promesse de fournir des biens ou des services distincts autres que des services d'assurance du contrat d'assurance, en appliquant la norme IFRS 15.

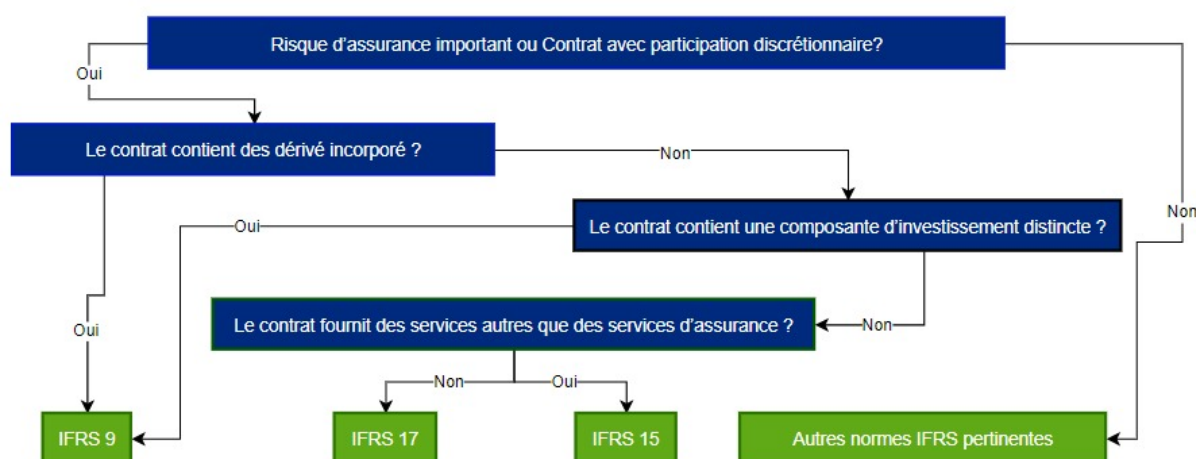


FIGURE 5 – Synthèse des modèles comptables

## II.4. Niveau d'agrégation des contrats

La norme IFRS 17 établit le niveau d'agrégation nécessaire pour évaluer les contrats d'assurance et leur rentabilité. La granularité des estimations est une difficulté majeure de cette norme, car elle influe sur la comptabilisation du résultat et sa présentation dans les états financiers. Les assureurs doivent regrouper les contrats d'assurance selon trois critères : le portefeuille de produits, la profitabilité et la cohorte. Le premier critère, le portefeuille de contrats, regroupe des contrats soumis à des risques similaires et gérés ensemble, basé sur le jugement de l'entité quant à la similitude des flux de trésorerie en réaction aux changements d'hypothèses clés. Ensuite, chaque portefeuille est réparti en fonction de la rentabilité des contrats, distinguant les contrats déficitaires, les contrats sans risque significatif de déficit et les autres contrats. Cette approche évite de compenser les contrats profitables avec les déficitaires, fournissant ainsi des informations sur la politique de tarification de l'entité.

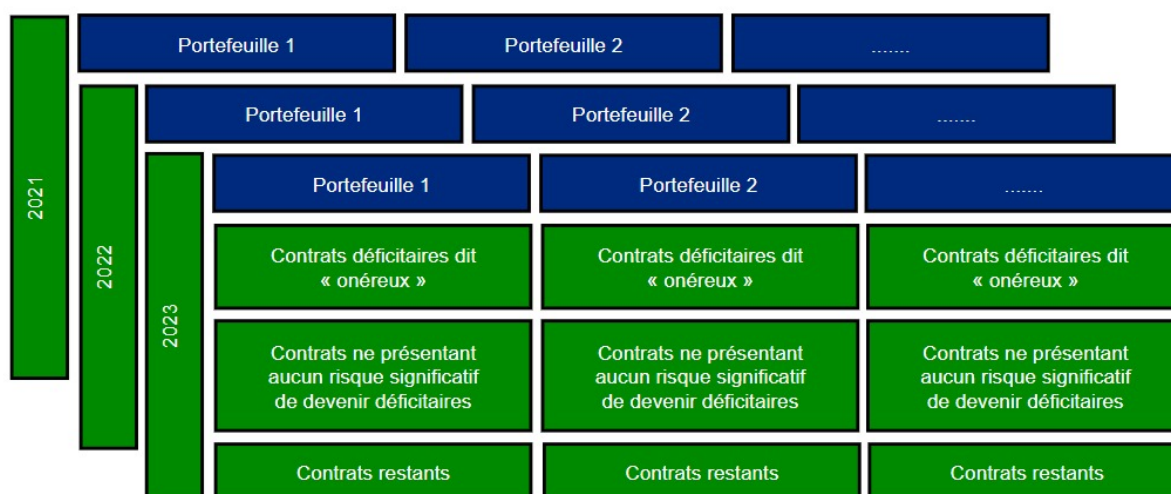


FIGURE 6 – Niveau d'agrégation : Notion de Groupe de contrats sous IFRS 17

## II.5. Approches de comptabilisation sous IFRS 17

IFRS 17 propose trois modalités, désignées comme modèles comptables, pour l'évaluation des contrats d'assurance en fonction de leur nature. Ci-dessous est présenté un graphique récapitulatif des critères qui guident le choix du modèle comptable à adopter. Les détails concernant ces approches seront exposés dans la suite du mémoire.

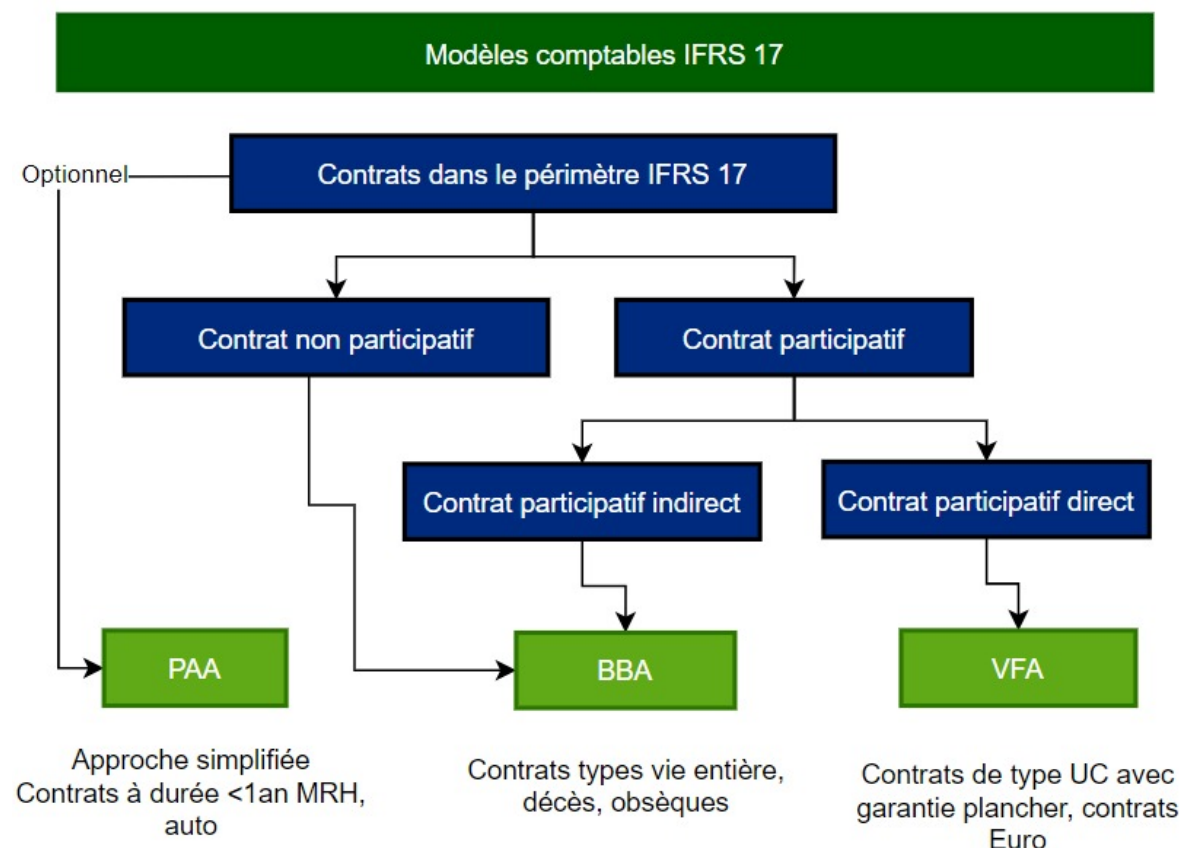


FIGURE 7 – Synthèse des modèles comptables

### II.5.1. Le modèle général dit Building Block Approach (BBA)

Le Building Block Approach (BBA), le premier mode de comptabilisation proposé dans la norme, constitue le modèle général. Il est universellement applicable à tous les contrats d'assurance, sauf dans les cas où l'approche VFA ou la méthode PAA est spécifiée par la norme. Comme son nom l'indique, l'approche BBA est structurée autour de blocs. Ces blocs du passif comprennent la marge de service contractuelle, l'ajustement pour risque et la valeur actuelle des flux futurs (BE). L'objectif principal de cette approche

est de quantifier les engagements de l'assureur sur toute la durée de couverture d'un contrat d'assurance. La comptabilisation sous l'approche BBA se divise en deux étapes. Tout d'abord, lors de l'ouverture d'un contrat, tous les éléments du bilan doivent être initialement établis. Ci-dessous est présenté un graphique illustrant cette étape initiale de la méthode :

Voici les différentes étapes de l'initialisation :

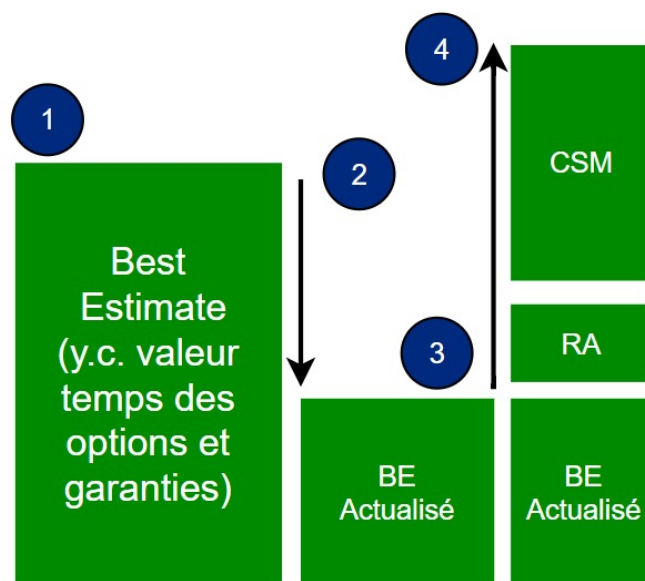


FIGURE 8 – Modèle général - Building Block Approach

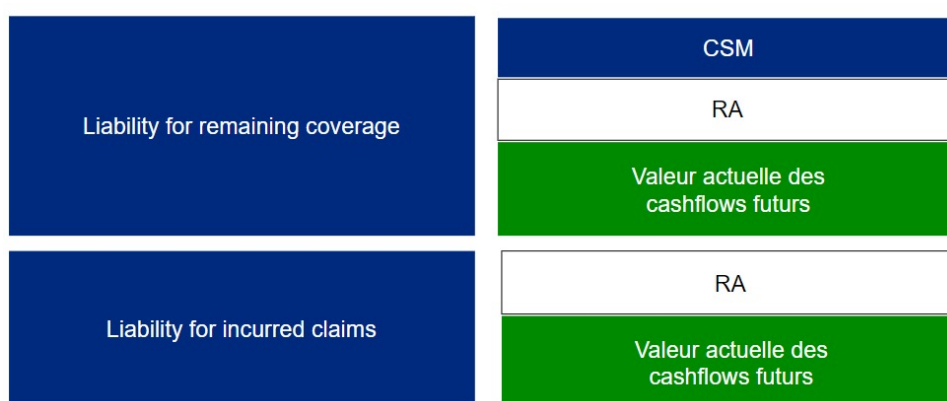
1. Évaluation des provisions techniques : Les provisions techniques BE représentent une estimation impartiale, des flux de trésorerie futurs sortants (tels que les sinistres et les frais) et entrants (comme les primes) générés par les contrats d'assurance.
2. Actualisation des flux : Les flux sont actualisés à un taux courant dérivé de données de marché observables, ajustées pour refléter les caractéristiques spécifiques du passif d'assurance. Le taux d'actualisation doit prendre en compte l'interaction avec les actifs pour les contrats participatifs.
3. Ajustement pour risque : Les passifs d'assurance intègrent un ajustement pour risque afin de prendre en compte l'impact de l'incertitude découlant des risques non financiers sur le montant et le calendrier des flux de trésorerie futurs. Cet ajustement représente le montant maximal qu'il serait raisonnable pour l'assureur d'ajouter aux provisions techniques BE afin de se prémunir

contre le risque.

4. Calcul de la marge de service contractuelle : La marge de service contractuelle est calculée au début de la vie du contrat dans le but d'équilibrer tout résultat au démarrage du contrat.

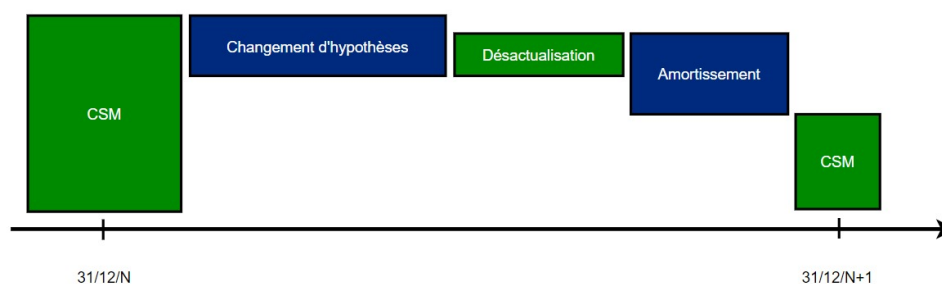
En conséquence, lors de la souscription d'un contrat d'assurance, nous établissons l'équation suivante : La prime est égale à la somme des provisions techniques BE, de l'ajustement du risque (RA), et de la marge de service contractuelle (CSM). Après avoir enregistré initialement un ensemble de contrats d'assurance, la valeur comptable du groupe à chaque date de clôture se compose de deux types de provisions techniques :

1. Les provisions concernant la couverture restante à fournir à la date d'arrêté, appelées Liability for Remaining Coverage (LRC), comprenant :
  - (a) les flux de trésorerie anticipés liés aux services futurs attribués au groupe à cette date ;
  - (b) la CSM du groupe à cette date ;
2. Les provisions pour les sinistres survenus restant à payer, englobant les flux de trésorerie associés aux services passés attribués au groupe à cette date. Ces provisions, pour lesquelles la CSM a été entièrement dégagee en résultat, sont équivalentes aux provisions pour sinistres à payer (PSAP) et sont désignées dans le cadre d'IFRS 17 sous le nom de Liability for Incurred Claims (LIC).



**FIGURE 9** – Subsequent Measurement : Décomposition du passif

De plus, la marge de service contractuelle joue un rôle crucial dans le passif d'assurance. En effet, les réévaluations des provisions techniques BE et de l'ajustement du risque suite à des changements dans les hypothèses non financières affectant les flux des exercices futurs sont enregistrées dans la marge de service contractuelle. Ainsi, dans le modèle global, les changements dans les hypothèses financières sont enregistrés dans le résultat ou les capitaux propres, contrairement à ceux des hypothèses techniques qui sont enregistrés dans la marge de service contractuelle. Ci-dessous est exposée l'évolution de la CSM d'une année à l'autre :



**FIGURE 10** – Impacts des changements d'hypothèses sur la CSM

Effectivement, la CSM subit chaque année l'influence de divers éléments. Une fois que les ajustements dus aux changements d'hypothèses techniques ont été intégrés dans la CSM, celle-ci est ensuite désactualisée en utilisant le taux d'actualisation initial, avant d'être amortie.

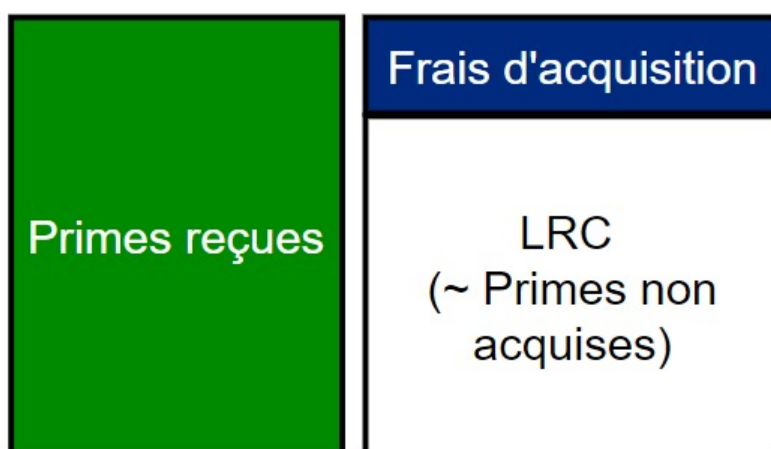
## II.5.2. Le modèle simplifié dit Premium Allocation Approach (PAA)

Le modèle Premium Allocation Approach (PAA) est une alternative facultative pour les contrats de courte durée, couvrant une année ou moins, ou lorsque les résultats obtenus avec le modèle PAA ne diffèrent pas considérablement de ceux du modèle général. le modèle principal pour les garanties d'assurance non-vie. L'objectif du modèle comptable PAA est de simplifier l'évaluation de la LRC, c'est-à-dire des provisions au titre de la couverture restant à fournir. Dans le modèle général, le passif de l'entité est représenté comme la somme d'une Valeur Actuelle, d'un Ajustement de Risque et d'une Marge de Service Contractuelle (dans le cas où le contrat est profitable). Cette CSM, qui représente les bénéfices futurs, est ensuite amortie sur la période de couverture du contrat. Le modèle PAA, généralement appliqué à des contrats de courte durée ( $\leq 1$  an) , vise à

éviter la modélisation de la CSM. En effet, en raison de la courte durée des contrats, les profits non acquis (CSM) sont déjà implicitement pris en compte, rendant inutile leur modélisation séparée. Cela assure un lissage des résultats et une traçabilité des profits sans la complexité du calcul de la CSM. La condition d'éligibilité au PAA comporte deux critères non cumulatifs lors de la comptabilisation initiale des contrats :

1. Les résultats obtenus par l'approche simplifiée ne diffèrent pas de manière significative de ceux qui seraient obtenus dans le modèle général ;
2. La période de couverture des contrats d'assurance à la date de première comptabilisation (au regard de la frontière des contrats) est inférieure ou égale à 1 an.

Il n'est pas nécessaire de justifier l'éligibilité au PAA pour les contrats d'une durée de couverture inférieure à un an. Dans le cas contraire, la mise en œuvre du modèle PAA nécessite de démontrer que les résultats entre le modèle général et simplifié sont équivalents. Ce critère n'est pas respecté si, lors de la souscription du groupe de contrats, une entité anticipe une variabilité significative des engagements avant la survenance des sinistres. Cette variabilité peut concerner, par exemple, l'ampleur des flux de trésorerie futurs liés aux dérivés incorporés et la durée de couverture du groupe de contrats. L'entité doit également utiliser son propre jugement pour interpréter la notion de "manière significative". Les éléments susceptibles de créer une différence notable entre le PAA et le modèle général concernent principalement les modalités de reconnaissance de la CSM, l'estimation des flux de trésorerie futurs, ainsi que les effets d'actualisation.

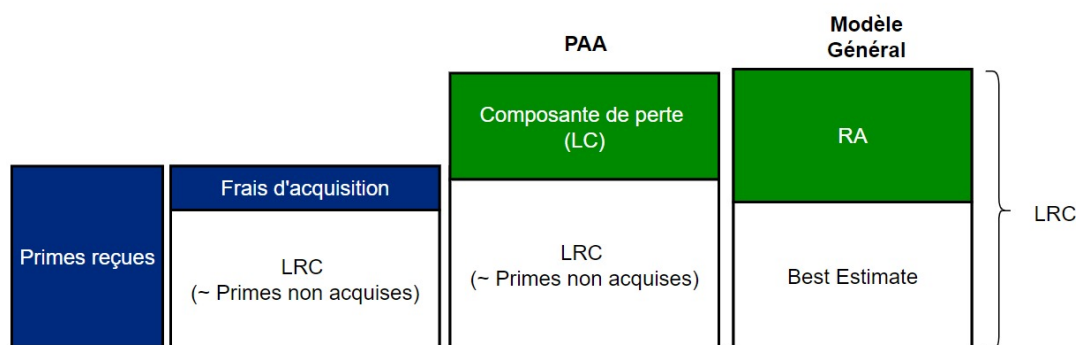


**FIGURE 11** – Définition de la LRC en PAA

Les méthodes d'évaluation des provisions pour la période de couverture (LRC) diffèrent de leur comptabilisation dans le cadre du modèle général. L'utilisation du modèle comptable PAA présuppose que le groupe de contrats est profitable lors de son initialisation. Dans ce cas, la LRC du groupe de contrats à la souscription est constituée de :

1. La prime reçue (encaissée) à la date de première comptabilisation ;
2. Réduite des frais d'acquisition, sauf si l'entité décide de ne pas les inclure et de les comptabiliser en charges (si la période de couverture est inférieure à un an).

Si des faits ou des circonstances indiquent que le contrat n'est pas profitable, l'assureur doit calculer une composante de perte en utilisant une méthodologie similaire à celle du modèle général. La composante de perte est alors calculée comme la différence entre la prime et les charges liées au contrat : les BE de prestation et de frais, le RA et les autres frais, ainsi que la LRC en PAA définie ci-dessus. Pour un contrat onéreux, l'entité doit donc comptabiliser une composante de perte et augmenter la LRC au bilan du même montant.

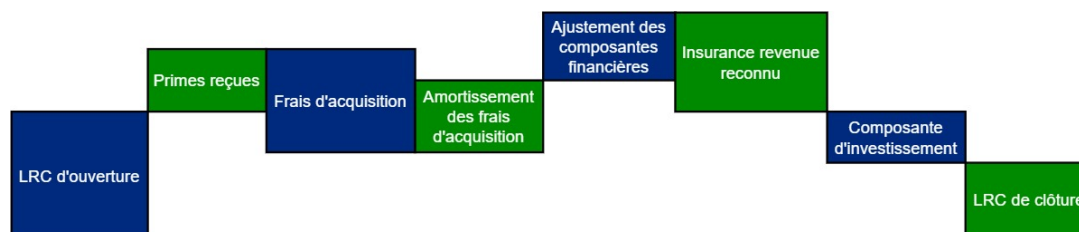


**FIGURE 12** – Cas des contrats onéreux en PAA

À la clôture de chaque période de présentation de l'information financière ultérieure, la valeur comptable de la LRC est obtenue en ajustant sa valeur comptable à l'ouverture des éléments suivants :

1. Les primes reçues au cours de la période ;
2. Les flux de trésorerie liés aux frais d'acquisition, sauf si l'entité choisit de les comptabiliser en charges ;
3. Tout montant comptabilisé en charges au cours de la période en raison de l'amortissement des flux de trésorerie liés aux frais d'acquisition, sauf si l'entité

- choisit de les comptabiliser en charges comme indiqué précédemment ;
4. Tout ajustement apporté à un composant de financement ;
  5. Le montant comptabilisé en tant que produit des activités d'assurance pour les services fournis durant cette période ;
  6. Tout composant d'investissement payé ou transféré au passif pour les sinistres survenus.



**FIGURE 13** – Subsequent Measurement de la LRC en PAA

La manière dont les provisions pour les sinistres déjà survenus (LIC) sont gérées est similaire à celle du modèle général. Pour rappel, la LIC se compose du BE de sinistres (estimations des cash-flows futurs actualisés) et du RA associé. En conséquence, la LIC fonctionne comme une PSAP, qui sera ajustée à chaque période en fonction des nouveaux sinistres non réglés, des règlements de sinistres et de frais, ainsi que du relâchement du RA.

On verra par la suite que les groupes de contrats étudiés seront considérés comme profitables, et donc seul un RA LIC sera calculé, et le volume de primes sera considéré nul. En effet, cette partie du passif concerne uniquement les sinistres déjà survenus.

### II.5.3. Le modèle spécifique dit Variable Fee Approach (VFA)

La méthode BBA est la méthode par défaut. Cependant, pour les contrats participatifs directs, la norme exige une modification : la méthode VFA (Variable Fee Approach). Ainsi, un modèle dérivé du modèle BBA est principalement appliqué aux contrats d'assurance vie. Au moment de l'enregistrement initial, il n'y a pas de distinction entre les modèles BBA et VFA. Les différences surviennent lors des enregistrements ultérieurs, se limitant uniquement à la CSM. Contrairement à la méthode BBA, la CSM absorbe alors :

1. Les impacts liés aux changements des hypothèses financières ;

2. La part attribuée à l'entité de la variation de la juste valeur des éléments sous-jacents.

Les deux méthodes mentionnées précédemment s'appliquent aux traités de réassurance. En d'autres termes, bien que certains types de contrats de réassurance remplissent les critères de la VFA, l'IASB a décidé qu'ils ne sont pas éligibles à la VFA. En effet, le rendement d'un contrat à participation discrétionnaire dépend de la compensation que l'entité facture au preneur d'assurance via le contrat d'assurance pour les services fournis. Néanmoins, cette définition du rendement n'est pas applicable à la réassurance.

## Chapitre 2 : Focus sur le RA

# I. Principe du Risk Adjustment

L'objectif du Risk Adjustment est de prendre en compte les impacts de l'incertitude sur les flux de trésorerie postérieurs à la date d'entrée en vigueur du contrat d'assurance. Il constitue ainsi une marge visant à compenser les erreurs d'estimation, représentée de manière illustrative par une barre d'incertitude.

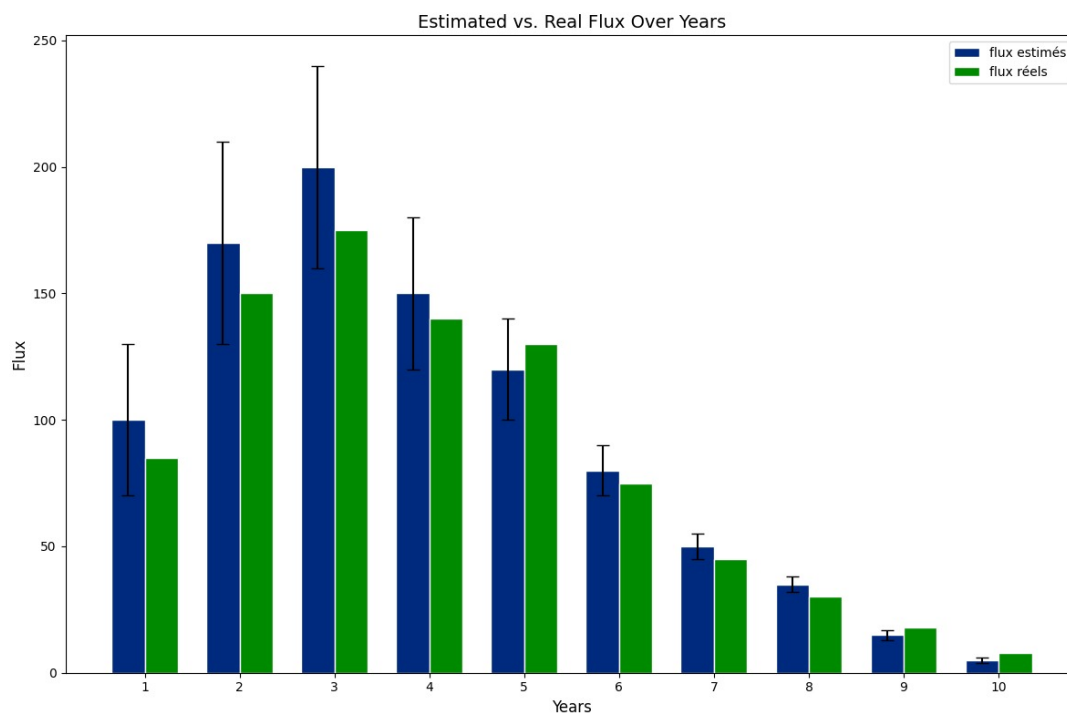


FIGURE 14 – Ecart entre flux réels et flux estimés

Le Risk Adjustment (RA) s'ajoute au Best Estimate (BE) pour couvrir l'incertitude de ce dernier, et réduit également le montant de la Marge de Service Contractuel (CSM) du passif. Contrairement à la partie financière du risque, supposée être déjà intégrée dans l'estimation des flux futurs et des taux d'actualisation, le RA se concentre sur les risques non financiers spécifiques aux contrats d'assurance. Une particularité importante de cette notion est que la norme IFRS 17 ne fournit pas de méthode spécifique pour son calcul, laissant ainsi place au jugement de l'assureur. De plus, aucune directive n'est donnée quant au niveau d'agrégation pour le calcul du RA. Par conséquent, il est possible de calculer cette provision par groupe de contrats ou de l'évaluer de manière globale, cette approche étant autorisée pour le Best Estimate. La norme IFRS 17 établit des critères à suivre pour le calcul de l'ajustement pour risque,

bien qu'elle ne prescrive aucune méthode spécifique :

- Les risques à faibles fréquences et à forts impacts nécessitent un ajustement pour risque plus élevé que les risques à fréquences élevées et à faibles impacts.
- Pour des risques équivalents, ceux avec une durée plus longue nécessiteront un ajustement pour risque plus élevé.
- Les risques présentant une large distribution de probabilité nécessiteront un ajustement pour risque plus élevé que ceux avec une distribution de probabilité plus restreinte.
- Moins il y a d'informations disponibles sur les risques, plus l'ajustement pour risque devrait être élevé.

## II. Comparaison avec Solvabilité 2

Une marge similaire existe dans le cadre de Solvabilité 2, nommée la Marge de Risque, qui évalue les frais éventuels associés au transfert des engagements d'assurance à un tiers. Toutefois, plusieurs distinctions entre les deux approches peuvent être résumées comme suit :

|            | Risk Margin   | Risk Adjustment  |
|------------|---|--|
| Definition | La Risk Margin est calibrée pour s'assurer que les provisions techniques sont équivalentes aux montants qu'un autre assureur doit prendre en charge pour respecter les mêmes obligations. | Le Risk Adjustment est calibré comme la compensation qu'un assureur exige pour supporter l'incertitude des flux de trésorerie. |

|                 | Risk Margin  | Risk Adjustment  |
|-----------------|--|--|
| Calculs         | La méthodologie et le calibrage du Risk Margin est prescrit dans Solvabilité 2. Le calcul du coût du capital est nécessaire avec un taux COC de 6% (supérieur au taux sans risque). L'exigence de capital est conçue pour couvrir un niveau de confiance de 99,5% sur un horizon d'un an.  | Il n'y a pas de technique ou de limite prescrite sur la technique de calcul. Le calcul est fondé sur des principes d'estimation. La principale différence est le niveau de granularité, contrairement à Solvabilité 2, il est possible d'avoir différents niveaux de confiance pour différents types de contrat. |
| Sous Risque     | La Risk Margin contient le risque de souscription, le risque de marché (autre que le risque de taux d'intérêt), risque opérationnel et le risque de contrepartie. Les exigences de fonds propres sont fondées sur un étalonnage de modèle interne approuvé ou par la formule standard.   | Le Risk Adjustment reflète tous les risques non financiers du contrat d'assurance. L'éventail des risques est plus restreint comparé à Solvabilité 2. Le Risk Adjustment ne prend pas en considération le risque de contrepartie et le risque opérationnel.  |
| Diversification | La Risk Margin tient généralement compte du niveau de diversification de l'assureur au niveau de l'entité toute entière et reflète ainsi la diversification entre les secteurs d'activités. Toutefois, il n'y a pas de possibilité de diversification entre la vie et la non-vie au sein d'une entité composite, ou entre différentes entités au sein d'un groupe. | Il n'y a pas de restriction prescrite quant au niveau de diversification, mais plutôt un principe selon lequel l'ajustement global du risque reflète la compensation dont l'entité a besoin pour assumer le risque. L'ampleur de la diversification pourrait donc être différente de Solvabilité 2.              |

|               | Risk Margin   | Risk Adjustment   |
|---------------|---|---|
| Comparabilité | Le calcul du Risk Margin se fait à un niveau de granularité plus global qu'en IFRS 17.  | La norme exige de divulguer les différents niveaux de confiance utilisés pour le calcul du Risk Adjustment. Il n'y a pas d'équivalent avec la Risk Margin.  |
| Réassurance   | La Risk Margin est une mesure actualisée, qui est révisée chaque période. La Risk Margin se calcule nette de réassurance, qui est un levier pour la faire diminuer. | Le Risk Adjustment est une mesure actualisée, comme pour Solvabilité 2, qui est révisée à chaque période pour mesurer le passif contractuel. Contrairement à Solvabilité 2, il y a deux Risk Adjustment relatifs au contrat d'assurance et de réassurance respectivement. |

### III. Techniques de mesure du Risk Adjustment

Les entreprises ne sont pas contraintes d'adopter une méthode de calcul spécifique pour évaluer le Risk Adjustment, cependant l'International Actuarial Association (IAA) propose plusieurs approches de calcul. Ce document présente deux méthodes pour évaluer le Risk Adjustment :

1. Mesure par Value-at-Risk (VaR)
2. Mesure par coût du capital

#### III.1. Value-at-Risk

L'approche du Value-at-Risk, également connue sous le nom anglais de "Value-at-Risk", est une méthode qui tire parti de la distribution du risque sous-jacent pour évaluer directement la valeur globale du passif pour un niveau de confiance spécifié à l'avance. Pour ce faire, on calcule un taux de Risk Adjustment pour un niveau de confiance déterminé, représentant l'incertitude par rapport à la valeur moyenne. Plus précisément, étant donné la distribution BE des best estimate, et un niveau de confiance de  $\alpha\%$ , le

taux de Risk Adjustment est défini comme suit :

$$\rho_{\alpha}(BE) = \frac{q_{\alpha}(BE)}{\mathbb{E}(BE)} - 1$$

En considérant  $q_{\alpha}(BE)$  comme le quantile de niveau  $\alpha$  de  $BE$ , le Risk Adjustment est défini comme suit :

$$RA(BE) = \rho_{\alpha}(BE) \cdot BE$$

IFRS 17 exige que les entités établissent et communiquent un niveau de confiance fixe pour le Risk Adjustment, par exemple le niveau  $\alpha = 60\%$ .

## III.2. Mesure par coût du capital

Tout comme la norme prudentielle Solvabilité 2 propose un calcul pour la marge de risque, on peut envisager un modèle comparable pour déterminer l'ajustement pour risque. L'objectif est de partir des éléments connus pour ensuite explorer d'autres approches. L'article 37 du règlement délégué encadre le calcul de la marge de risque en formule standard. Ce calcul repose sur le coût du capital et la projection des SCR.

Dans cette étude, le coût du capital adopté est identique à celui utilisé sous Solvabilité 2, soit 6 %.

Les SCR à modéliser sont les suivants :

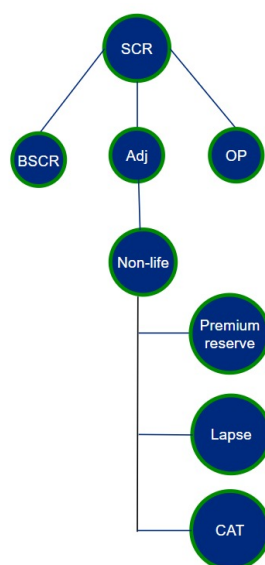


FIGURE 15 – SCR en non-vie

Le SCR "rachat" est considéré comme nul, car ce risque concerne le taux de

résiliation des polices. Il est donc supposé que toutes les primes non-acquises seront effectivement acquises.

De même, le SCR "CAT" est également considéré comme nul, car le risque CAT est traité séparément et n'est pas inclus dans cette étude.

Les SCR "ajustements" et "opérationnels" sont également supposés nuls.

Le risque de primes et de réserves est quant à lui calculé selon la formule suivante :

$$SCR_{\text{prem res}} = 3 \times \sigma \times V$$

- représente l'écart-type du risque de primes et de réserve en non-vie tel que :

$$\sigma = \frac{1}{V} \sqrt{\sigma_{\text{res}} V_{\text{res}} \sigma_{\text{prime}} V_{\text{prime}}}$$

Les écarts-types de primes et de réserves pour chaque ligne d'activité sont spécifiés dans la norme solvabilité II.

- La mesure de volume  $V$  pour le risque de primes et de réserves en non-vie est définie de la manière suivante :

$$V = V_{\text{prime}} + V_{\text{reserve}}$$

Le volume de réserve correspond aux réserves totales.

La formule du calcul du RA est la suivante :

$$RA = CoC \times \sum_{t \geq T} \frac{SCR_t}{(1 + r_t)^t}$$

-  $SCR_t$  représente le capital de solvabilité requis à l'année  $t$ .

- CoC représente le coût du capital (égal à 6% sous la norme Solvabilité II).

-  $r_t$  représente le taux d'actualisation de l'année  $t$ .

## IV. Modélisation du Risk Adjustment

Les contrats qui seront étudiés par la suite, ayant une durée de moins d'un an (modèle PAA), et le portefeuille de contrats étant considéré comme profitable, seule la méthodologie de l'estimation du RA LIC sera étudiée, car il ne sera pas nécessaire de calculer le RA LRC.

La première étape consiste à modéliser la charge ultime, pour laquelle plusieurs modèles (déterministes et stochastiques) sont disponibles. Nous utiliserons ensuite cette distribution pour calculer le Risk Adjustment LIC à l'aide de la Value-at-Risk. Enfin, nous proposerons une dernière approche qui s'appuie sur des concepts existants de Solvabilité II. Le chapitre est structuré de la manière suivante :

1. Estimation de la distribution de la charge ultime des sinistres.
2. Calcul du Risk Adjustment via la métrique du quantile (VAR).
3. Calcul du Risk Adjustment via le coût du capital.

### IV.1. Modélisation de la charge ultime

L'évaluation de la charge ultime des sinistres, un défi crucial pour le provisionnement, n'est pas limitée au seul contexte du Risk Adjustment. Divers modèles sont disponibles et leur adoption varie. Un résumé de ces modèles est présenté dans le tableau suivant :

| Déterministe | Triangle sinistre         |                           | Chain Ladder, London chain Ladder, Murphy ... |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---|
|              | Triangle sinistre + prime |                           | bornhuetter ferguson                          |
| Stochastique | Paramétrique              | Triangle sinistre         | Mack, HFB, Hertig, Overdispersed poisson ...  |
|              |                           | Triangle sinistre + prime | Mack-Bornhutter ferguson                      |
|              | Non Paramétrique          | Triangle sinistre         | Mack Bootstrap ...                            |
|              |                           | Triangle sinistre + prime | Mack-Bornhutter ferguson Bootstrap            |

FIGURE 16 – Modèles de modélisation de la charge ultime

Dans ce mémoire, nous adoptons une méthode d'estimation stochastique non paramétrique. Cette approche stochastique offre l'avantage d'introduire la notion de

variance. Cela permet de mesurer l'incertitude sur les provisions et de fournir des intervalles de confiance pour différents paramètres d'intérêts tel que la Value-at-Risk ou la probabilité d'insuffisance. Nous appliquons la méthode Mack à des triangles de risques homogènes, inspirée de l'article de Mack 13. Il convient de noter que cette méthode d'estimation de l'ultime est principalement utilisée dans le domaine de l'assurance non-vie.

### IV.1.1.1. Modèle de Mack

#### IV.1.1.1.1. Définition

Le modèle de Mack est un modèle non-paramétrique introduit pour la première fois en 1993. Il constitue une extension stochastique au Chain Ladder. En ajoutant une hypothèse à ce dernier, il permet d'introduire la notion de volatilité autour de l'estimation des règlements ou des charges futurs.

Notons  $i$  ( $0 \leq i \leq I$ ) les années de survenance des sinistres et  $j$  ( $0 \leq j \leq J$ ) les années de développements ( les années écoulées depuis la date de survenance du sinistre) . Notons de plus  $C_{i,j}$  le montant cumulé des règlements ou des charges au titre des sinistres survenus l'année  $i$  après  $j$  années de développement. Soit  $X_{i,j}$  le montant incrémental à la  $j$ -ème année de développement pour les sinistres survenus en  $i$ . On a alors :

$$X_{i,j} = C_{i,j} - C_{i,j-1} \quad \text{et} \quad C_{i,0} = X_{i,0}.$$

Enfin, nous notons  $D_I$  l'ensemble de l'information disponible en  $I$ .

$$\mathcal{D}_I = \{C_{i,j}, i + j \leq I\}$$

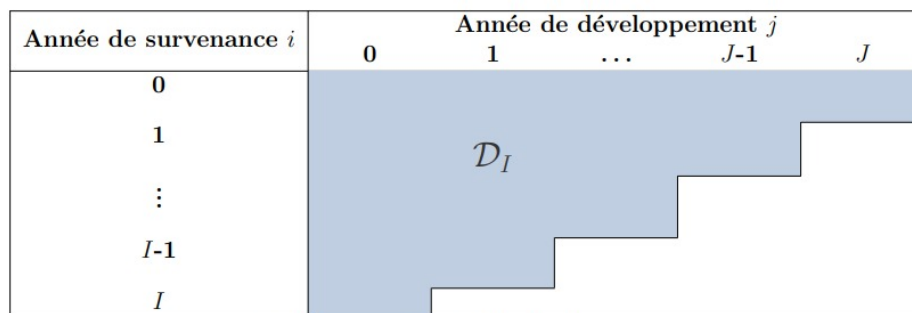


FIGURE 17 – Triangle de développement

### IV.1.1.2. Hypothèses de Mack

Pour déterminer le montant à l'ultime de la sinistralité passée, la méthode de MACK pose les trois hypothèses suivantes :

- H1 :  $(C_{i,1}; \dots; C_{i,n})$  est indépendant de  $(C_{k,1}; \dots; C_{k,n})$  pour tout  $i \neq k$ , autrement dit les sinistres réglés au titre de l'année de survenance  $i$  n'ont aucune influence sur les sinistres réglés au titre de l'année de survenance  $k$ .
- H2 :  $\forall i = 0; \dots; I$  et  $\forall j = 0; \dots; J - 1$  :

$$\mathbb{E}(C_{i,j+1} \mid C_{i,1}; \dots; C_{i,j}) = \lambda_j C_{i,j}$$

où le facteur de développement  $\lambda_j$  est indépendant de l'année de survenance  $i$ . L'estimateur non-biaisé de  $\lambda_j$  est défini par la relation suivante :

$$\hat{\lambda}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n-j} C_{i,j+1}}{\sum_{i=1}^{n-j} C_{i,j}}$$

- H3 :  $\forall i = 0; \dots; I$  et  $\forall j = 0; \dots; J - 1$  :

$$\text{Var}(C_{i,j+1} \mid C_{i,1}; \dots; C_{i,j}) = \sigma_j^2 C_{i,j}$$

où la variance  $\sigma_j^2$  est indépendante de l'année de survenance  $i$  considérée. L'estimateur sans biais  $\hat{\sigma}_j^2$  donné par MACK est le suivant :

$$\hat{\sigma}_j^2 = \begin{cases} \frac{1}{I-j-1} \sum_{i=0}^{I-j-1} C_{i,j} \left( \frac{C_{i,j+1}}{C_{i,j}} - \hat{\lambda}_j \right)^2 & \forall 0 \leq j \leq J - 2 \\ \min \left( \frac{\sigma_{J-2}^4}{\sigma_{J-3}^2}; \sigma_{J-2}^2; \sigma_{J-3}^2 \right) & \text{si } j = J - 1 \end{cases}$$

Le calcul de la réserve ultime nécessaire pour couvrir les sinistres passés se fait en suivant trois étapes consécutives, telles que :

1. Calcul du triangle inférieur :  $\forall i = 2; \dots; I$  :

$$\hat{C}_{i,J} = C_{i,I-i} \times \prod_{k=I-1}^{J-1} \hat{\lambda}_k$$

2. Détermination du montant de réserves  $\hat{R}_i$  pour chaque année de survénance  $i$  :

$$\hat{R}_i = \hat{C}_{i,J} - \hat{C}_{i,J-i}$$

3. Détermination du montant total de réserve ultime au titre de la sinistralité passée :

$$\hat{R} = \sum_{i=1}^I \hat{R}_i$$

#### IV.1.1.3. Mesure de l'erreur de prédiction :

MACK établit la mesure de l'incertitude inhérente aux  $C_{i,j}$  en mettant en lumière leur nature aléatoire. Cette mesure est exprimée par MACK à travers la relation suivante, qui quantifie l'erreur quadratique moyenne de prédiction du modèle :

$$\text{MSEP}(\hat{R}_i) = \mathbb{E} \left[ \left( \hat{C}_{i,J} - C_{i,J} \right)^2 \mid D \right] = \text{Var} [(C_{i,J} \mid D)] + \left[ \mathbb{E}(C_{i,J} \mid D) - \hat{C}_{i,J} \right]^2$$

Avec  $D$  représentant le triangle supérieur des montants cumulés payés, cette équation tient compte de l'écart entre l'estimateur  $\hat{C}_{i,J}$  et la variable  $C_{i,J}$ , en prenant en considération les informations déjà acquises. La disparité entre les paiements anticipés et la provision estimée peut découler de :

- L'erreur de processus : dues à la fluctuation des données constituant le triangle ;
- Les erreurs d'estimation : associées aux approximations faites lors de l'estimation des paramètres du modèle.

Cette équation peut être réexprimée pour chaque année d'occurrence  $i$  comme suit :

$$\widehat{\text{MSEP}}(\hat{R}_i) = \hat{C}_{i,J}^2 \sum_{j=I-i}^{J-1} \frac{\hat{\sigma}_j^2}{\hat{\lambda}_j^2} \left( \frac{1}{\hat{C}_{i,j}} + \frac{1}{\sum_{k=1}^{J-j} \hat{C}_{k,j}} \right) \forall i = 2; \dots; J.$$

En agréant toutes les années de survénance, on obtient :

$$\widehat{\text{MSEP}}_{R|\mathcal{D}_I}(\hat{R}) = \sum_{i=1}^I \left[ \widehat{\text{MSEP}}_{R_i|\mathcal{D}_I}(\hat{R}_i) + 2\hat{C}_{i,J} \cdot \sum_{l=i+1}^J \hat{C}_{l,J} \cdot \sum_{j=J-i}^{J-1} \frac{\hat{\sigma}_{j+1}^2}{\hat{f}_{j+1}^2 \sum_{k=1}^{J-j} \hat{C}_{k,j}} \right]$$

#### IV.1.1.4. Calcul de la volatilité

Pour ce faire, on recourt au calcul de la volatilité pour le risque de réserve dans le cadre de la norme Solvabilité 2. Celle-ci suppose que les volumes soumis aux risques de réserve suivent une loi log-normale dont les paramètres dépendent de la volatilité du risque sous-jacent. Pour cela, nous supposons que les réserves  $R$  suivent une loi Log-Normale de moyenne  $\hat{R}$  et de variance  $(MSEP)_{SII}$ . Nous définissons la volatilité des réserves  $\sigma_{SII}$  comme :

$$(\sigma_r^{SII})^2 = \frac{\widehat{MSEP}_{\sum_{i=2}^I \widehat{CDR}_i(I+1)|\mathcal{D}_I}(0)}{(\hat{R})^2}$$

Avec  $\widehat{MSEP}_{\sum_{i=2}^I \widehat{CDR}_i(I+1)|\mathcal{D}_I}(0)$  désigne l'erreur quadratique moyenne calculée selon le modèle de Merz & Wüthrich, tel que recommandé par l'EIOPA pour estimer cette erreur dans le contexte de Solvabilité 2 sur un horizon d'un an.

Pour transformer cette volatilité selon la vision SII en une volatilité conforme à IFRS 17 pour le risque de réserve, nous adopterons un modèle similaire à celui utilisé dans le cadre de Solvabilité II. Sous IFRS 17, notre intérêt se porte sur la volatilité du risque à l'ultime, d'où notre recours à l'erreur quadratique calculée selon le modèle de Mack, plutôt que celle calculée dans le cadre de SII, qui offre une vision sur un an seulement. Par conséquent, par analogie, nous avons la formule suivante :

$$\sigma_r^{IFRS} = \frac{\widehat{MSEP}(\hat{R})}{(\hat{R})^2}$$

## IV.2. Calcul du Risk Adjustment via la métrique du quantile

De la même manière que dans le contexte de Solvabilité II, en supposant que les réserves suivent une distribution log-normale, et comme vu dans l'axe 3.3, nous pouvons exprimer la formule suivante pour le calcul du RA :

$$RA_r = \rho_\beta(\sigma_r) \hat{B}E$$

Avec  $\rho_\beta(\sigma_r) = \frac{\exp(\mathcal{N}_\beta \sqrt{\log(\sigma_r^2 + 1)})}{\sqrt{\sigma_r^2 + 1}} - 1$  où  $\mathcal{N}_\beta$  est le quantile d'ordre  $\beta$  d'une loi normale centrée réduite ( $\beta = 99.5\%$  sous Solvabilité II).

### IV.3. Calcul du Risk Adjustment via le coût du capital

Après avoir calculé le SCR, sa projection est réalisée à l'aide d'un proxy conforme à la norme Solvabilité 2 :

$$SCR_t = k \times BE_t$$

où :

$$k = \frac{SCR_0}{BE_0}$$

L'ajustement pour risque à la date T est calculé tel que :

$$RA = CoC \times \sum_{t \geq T} \frac{\frac{SCR_0}{BE_0} \times BE_t}{(1 + r_t)^t}$$

# Chapitre 3 : Implémentation du calcul du RA pour un portefeuille non-vie de la SCR

## I. Présentation du portefeuille étudié

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons travaillé sur une base de données regroupant les informations relatives à un portefeuille de réassurance non-vie de la Société Centrale de Réassurance. L'objectif principal de notre étude est d'évaluer le montant du Risk Adjustment pour chaque groupe de contrats au sein de ce portefeuille conformément aux exigences de la norme IFRS 17 .

La base de données analysée contient les champs essentiels pour la construction des triangles de règlements et des triangles de charges, permettant ainsi une analyse détaillée de l'évolution des charges au fil du temps. Voici les principales variables de notre base de données :

- **LIABILITY\_CTRT\_ID** : Ce champ identifie de manière unique chaque groupe de contrats au sein du portefeuille. Par exemple, "S\_040\_AE\_PR\_REINS\_OTHER\_MOTOR", correspond au groupe numéroté 40 et inclut les contrats de type "AE" (Affaire Etrangère) en réassurance proportionnelle "PR" pour la ligne d'activité "Other motor". .
- **UNDERWRITING\_DT** : Ce champ indique la date de souscription de chaque contrat. En général, les contrats étudiés sont souscrits le 31 décembre de chaque année.
- **DEVELOPMENT** : Ce champ indique le nombre d'années écoulées depuis la date de souscription.
- **PAID\_LOSS\_AMT** : Ce montant représente les règlements cumulés à la fin de chaque année de développement pour les sinistres reportés mais non encore réglés. Il permet de tracer le triangle des règlements.
- **INCURRED\_LOSS\_AMT** : Ce montant inclut les charges cumulées pour les sinistres reportés mais non encore réglés. Il permet de tracer le triangle des charges.

Pour des raisons de confidentialité, nous ne pouvons pas présenter les résultats réels des calculs effectués. Par conséquent, dans ce rapport, nous avons choisi de n'exposer que la démarche de calcul détaillée, en utilisant la même base de données, mais en falsifiant les montants des règlements et des charges.

| LIABILITY_CTRT_ID          | UNDERWRITING_DT | DEVELOPMENT | PAID_LOSS_AMT | INCURRED_LOSS_AMT |
|----------------------------|-----------------|-------------|---------------|-------------------|
| S_001_AE_NP_REINS_CASUALTY | 31Dec2006       | 1           | 132418,911    | 195463,7738       |
| S_001_AE_NP_REINS_CASUALTY | 31Dec2006       | 2           | 572895,5175   | 1205923,367       |
| S_001_AE_NP_REINS_CASUALTY | 31Dec2006       | 3           | 728177,953    | 1438298,907       |
| S_001_AE_NP_REINS_CASUALTY | 31Dec2006       | 4           | 828245,8434   | 1495592,729       |
| S_001_AE_NP_REINS_CASUALTY | 31Dec2006       | 5           | 839292,8681   | 1501822,369       |
| S_001_AE_NP_REINS_CASUALTY | 31Dec2006       | 6           | 897250,0004   | 1563349,662       |
| S_001_AE_NP_REINS_CASUALTY | 31Dec2006       | 7           | 907374,1847   | 1130692,657       |
| S_001_AE_NP_REINS_CASUALTY | 31Dec2006       | 8           | 963483,1081   | 1184608,131       |
| S_001_AE_NP_REINS_CASUALTY | 31Dec2006       | 9           | 1453606,593   | 1682510,879       |
| S_001_AE_NP_REINS_CASUALTY | 31Dec2006       | 10          | 1453606,593   | 1734076,476       |
| S_001_AE_NP_REINS_CASUALTY | 31Dec2006       | 11          | 1453606,593   | 1712424,068       |
| S_001_AE_NP_REINS_CASUALTY | 31Dec2006       | 12          | 1493508,7     | 1711577,323       |

FIGURE 18 – Présentation de la base de données des règlements et des charges (données falsifiées)

## I.1. Traitement de la base de données

### I.1.1. Nettoyage

Alors que la base de données examinée ne présente aucune valeur manquante, les méthodes de provisionnement exigent que les montants des charges et des règlements soient impérativement supérieurs à zéro. Ainsi, il est essentiel de s'assurer de l'absence totale de montants nuls ou négatifs pour les règlements et les charges.

```
> # Afficher les résultats
> cat("Nombre de valeurs PAID_LOSS_AMT égales à 0 :", paid_loss_zeros, "\n")
Nombre de valeurs PAID_LOSS_AMT égales à 0 : 1166
> cat("Nombre de valeurs INCURRED_LOSS_AMT égales à 0 :", incurred_loss_zeros, "\n")
Nombre de valeurs INCURRED_LOSS_AMT égales à 0 : 1053
> cat("Nombre de valeurs PAID_LOSS_AMT négatives :", paid_loss_negatives, "\n")
Nombre de valeurs PAID_LOSS_AMT négatives : 15
> cat("Nombre de valeurs INCURRED_LOSS_AMT négatives :", incurred_loss_negatives, "\n")
Nombre de valeurs INCURRED_LOSS_AMT négatives : 10
> |
```

FIGURE 19 – Nombre de valeurs négatives ou nulles pour les règlements et charges dans la base de données

Suite au test, il est apparu que la base de données comporte un nombre significatif de valeurs nulles pour les charges et les règlements, parfois pour plusieurs années de souscription consécutives. Étant donné que l'étude ne peut être appliquée aux groupes de contrats dont les triangles contiennent de telles valeurs, nous allons les supprimer. Pour les triangles avec un faible nombre de valeurs nulles ou négatives, nous remplacerons chaque valeur par la première valeur non nulle suivante ou la dernière valeur non nulle précédente pour la même année de souscription.

À l'aide du logiciel R, une nouvelle base de données a été générée, contenant uniquement

les groupes de contrats présentant des montants de règlements et des charges appropriés pour l'application des méthodes de provisionnement. Il en résulte 11 groupes de contrats sur lesquels l'étude peut être réalisée. Pour simplifier, ces groupes seront désignés comme suit : GOC1, GOC2, etc.

**TABLE 2** – Groupes de contrats restants

| Groupe de contrats               | Nom attribué |
|----------------------------------|--------------|
| S_010_AE_NP_REINS_PROPERTY       | GOC 1        |
| S_011_AM_NP_REINS_PROPERTY       | GOC 2        |
| S_016_AE_PR_REINS_CREDIT_SURETYS | GOC 3        |
| S_017_AM_PR_REINS_CREDIT_SURETYS | GOC 4        |
| S_020_AE_PR_REINS_FIRE_OTH_DAMAG | GOC 5        |
| S_021_AM_PR_REINS_FIRE_OTH_DAMAG | GOC 6        |
| S_025_AM_PR_REINS_GENERAL_LIABIL | GOC 7        |
| S_030_AE_PR_REINS_MARINE_AVIATN  | GOC 8        |
| S_031_AM_PR_REINS_MARINE_AVIATN  | GOC 9        |
| S_040_AE_PR_REINS_OTHER_MOTOR    | GOC 10       |
| S_041_AM_PR_REINS_OTHER_MOTOR    | GOC 11       |

### I.1.2. Construction des triangles

Après avoir nettoyé la base de données, il est nécessaire de tracer les triangles de charges et de règlements pour chaque groupe de contrats. Cette tâche a été réalisée à l'aide d'un code R.

Puisque l'étude est la même pour tous les triangles, nous nous intéresserons par la suite à un seul triangle pris arbitrairement, celui des charges du GOC 11, afin d'effectuer les calculs des provisions techniques, notamment le Best Estimate et le Risk Adjustment. Nous analyserons les résultats et présenterons, vers la fin, les résultats des autres groupes de contrats dans des tableaux de synthèse.

**TABLE 3** – Triangle des charges pour le GOC 11 (Données fałcifiées)

|      | 0           | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2014 | 144558566,6 | 448131556,6 | 672197334,9 | 702694927,9 | 721232020,1 | 740200422,3 | 794605153,3 | 852055105,9 | 906331016,1 | 906331016,1 |
| 2015 | 375678810,5 | 1089468550  | 1416309116  | 1511754187  | 1566902980  | 1625552158  | 1763073871  | 1902920890  | 2069160059  |             |
| 2016 | 362270667,2 | 8332225345  | 13331560552 | 14029867694 | 15065692826 | 16534240820 | 17165848819 | 17618683911 |             |             |
| 2017 | 181981694,9 | 547764901,6 | 766870862,2 | 772852455   | 837277435,6 | 869680072,4 | 928232152,9 |             |             |             |
| 2018 | 167501989,8 | 499155929,6 | 748733894,5 | 790812739,3 | 864927709,3 | 905045651,2 |             |             |             |             |
| 2019 | 151900912   | 440512644,8 | 682794599,5 | 748158526,5 | 768643106,9 |             |             |             |             |             |
| 2020 | 115743858   | 348389012,5 | 522583518,7 | 547526430   |             |             |             |             |             |             |
| 2021 | 162144741,3 | 494541460,8 | 697303459,8 |             |             |             |             |             |             |             |
| 2022 | 168822838,5 | 531791941,2 |             |             |             |             |             |             |             |             |
| 2023 | 149128386,4 |             |             |             |             |             |             |             |             |             |

## I.2. Hypothèses de travail

### I.2.1. Maille IFRS 17 pour le calcul du Risk Adjustment

Comme décrit précédemment dans le paragraphe II.4 du chapitre 1, la norme IFRS 17 exige de déterminer le groupe de contrats (maille) pour lequel on effectuera le calcul du Risk Adjustment, comme suit :



FIGURE 20 – Étapes pour construire la maille IFRS 17

Pour notre étude, étant donné que tous les contrats analysés sont supposés être profitables et appartiennent à la catégorie des contrats non-vie, nous définissons la segmentation suivante :

**-Line of Business :** Les lignes d'activités utilisées au sein de la SCR sont celles de la norme Solvabilité II :

- Assurance de responsabilité civile automobile et réassurance proportionnelle y afférente
- Autre assurance des véhicules à moteur et réassurance proportionnelle y afférente
- Assurance maritime, aérienne et transport et réassurance proportionnelle y afférente
- Assurance incendie et autres dommages aux biens et réassurance proportionnelle y afférente
- Assurance de responsabilité civile générale et réassurance proportionnelle y afférente
- Assurance crédit et cautionnement et réassurance proportionnelle y afférente
- Assurance de protection juridique et réassurance proportionnelle y afférente
- Assurance assistance et réassurance proportionnelle y afférente
- Assurance pertes pécuniaires diverses et réassurance proportionnelle y afférente
- Réassurance accidents non proportionnelle
- Réassurance maritime, aérienne et transport non proportionnelle
- Réassurance dommages non proportionnelle
- **Nature d'affaire :** Affaire marocaine, Affaire étrangère

- **Type d'assurance** : Proportionnelle, Non-Proportionnelle

### **I.2.2. Approche de comptabilisation adoptée**

Puisque notre périmètre d'étude est limité aux contrats non-vie de maturité inférieure à un an, nous appliquerons le modèle simplifié PAA, largement utilisé en assurance non-vie, car les contrats émis n'excèdent généralement pas un an. De plus, en raison de la courte durée des contrats, les profits non acquis (CSM) sont déjà implicitement pris en compte, rendant inutile leur modélisation séparée. Cela assure un lissage des résultats et une traçabilité des profits sans la complexité du calcul de la CSM. On s'intéressera donc juste à la modélisation du RA et des flux du Best Estimate.

### **I.2.3. Courbe d'actualisation**

Pour actualiser les flux futurs, intégrer la valeur temps de l'argent via un taux d'actualisation est nécessaire. La Société Centrale de Réassurance utilise la courbe des taux zéro coupon basée sur les taux moyens pondérés des transactions des bons du trésor du marché secondaire au 29/12/2023, fournis par Bank Al Maghrib. Nous expliquerons par la suite les démarches de la construction de cette courbe.

## **II. Modélisation de l'ajustement pour risque (RA)**

L'objectif principal de cette étude est d'avoir une vue sur une méthodologie bien établie sur le marché, et puis d'explorer d'autres méthodes d'estimation de l'ajustement pour risque afin d'en évaluer les impacts. Ce montant sera estimé en utilisant une méthode basée sur les mesures de risque : Value at Risk. Par la suite, nous présenterons la méthode du 'coût du capital'.

## II.1. Estimation de la distribution de la charge ultime des sinistres

Le triangle de développement des sinistres liés aux groupes de contrats GOC1 est présenté dans le tableau suivant :

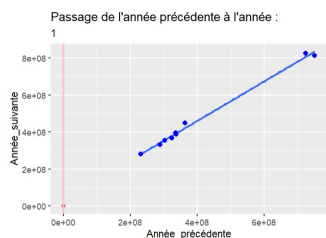
**TABLE 4** – Triangle des charges pour le GOC 11 (Données falsifiées)

|      | 0              | 1                | 2                 | 3                 | 4                 | 5                 | 6                 | 7                 | 8                | 9              |
|------|----------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------------|
| 2014 | 144,558,566.64 | 448,131,556.57   | 672,197,334.85    | 702,694,927.94    | 721,232,020.13    | 740,200,422.26    | 794,605,153.30    | 852,055,105.88    | 906,331,016.13   | 906,331,016.13 |
| 2015 | 375,678,810.49 | 1,089,468,350.41 | 1,416,309,115.53  | 1,511,754,186.82  | 1,566,902,979.56  | 1,625,552,158.08  | 1,763,073,870.66  | 1,902,920,890.08  | 2,069,160,059.04 |                |
| 2016 | 362,270,667.19 | 8,332,225,345.26 | 13,331,560,552.41 | 14,029,867,694.14 | 15,065,692,826.00 | 16,534,240,819.62 | 17,165,848,818.93 | 17,618,683,910.77 |                  |                |
| 2017 | 181,981,694.89 | 547,764,901.60   | 766,870,862.25    | 772,852,454.97    | 837,277,435.62    | 869,680,072.38    | 928,232,152.93    |                   |                  |                |
| 2018 | 167,501,989.82 | 499,155,929.65   | 748,733,894.47    | 790,812,739.34    | 864,927,709.27    | 905,045,651.21    |                   |                   |                  |                |
| 2019 | 151,900,912.01 | 440,512,644.83   | 682,794,599.48    | 748,158,526.49    | 768,643,106.95    |                   |                   |                   |                  |                |
| 2020 | 115,743,857.96 | 348,389,012.46   | 522,583,518.69    | 547,526,430.04    |                   |                   |                   |                   |                  |                |
| 2021 | 162,144,741.26 | 494,541,460.83   | 697,303,459.77    |                   |                   |                   |                   |                   |                  |                |
| 2022 | 168,822,838.47 | 531,791,941.16   |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                  |                |
| 2023 | 149,128,386.39 |                  |                   |                   |                   |                   |                   |                   |                  |                |

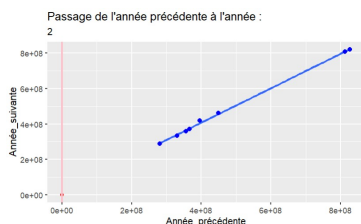
### II.1.1. Vérification des hypothèses de MACK

#### II.1.1.1. Existence d'un facteur de développement tel que $C_{i,j+1} = f_{i,j} \times C_{i,j}$

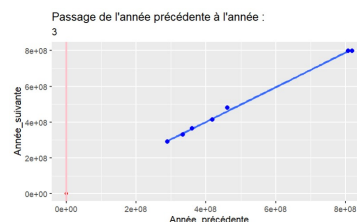
Les figures ci-dessous illustrent une relation linéaire entre chaque année de développement  $i$  et l'année suivante,  $i + 1$ .



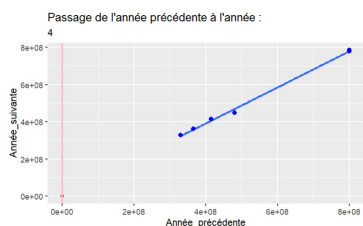
**FIGURE 21** – Passage de l'année 1 à l'année 2



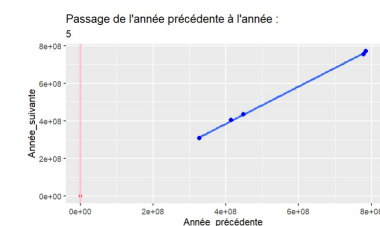
**FIGURE 22** – Passage de l'année 2 à l'année 3



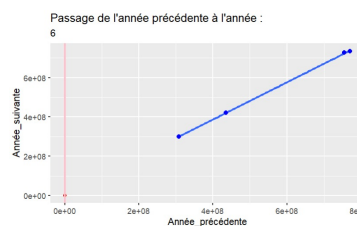
**FIGURE 23** – Passage de l'année 3 à l'année 4



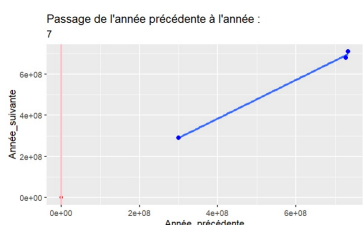
**FIGURE 24** – Passage de l'année 4 à l'année 5



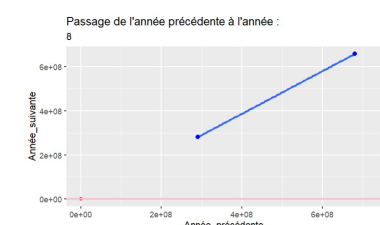
**FIGURE 25** – Passage de l'année 5 à l'année 6



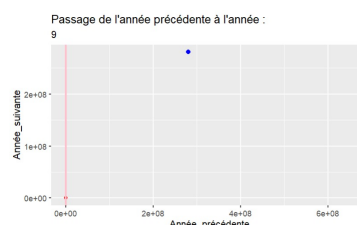
**FIGURE 26** – Passage de l'année 6 à l'année 7



**FIGURE 27** – Passage de l'année 7 à l'année 8



**FIGURE 28** – Passage de l'année 8 à l'année 9



**FIGURE 29** – Passage de l'année 9 à l'année 10

Au vu de ces résultats, et des résultats obtenus pour le reste des groupes de contrats, il est considéré qu'un coefficient de passage entre chaque année de développement  $i$  et  $i + 1$  existe.

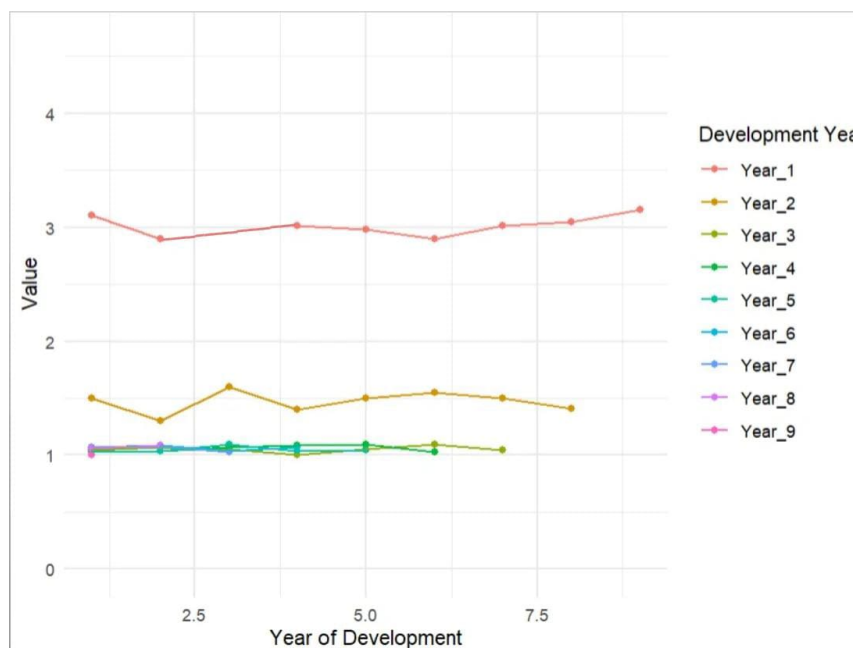
### II.1.1.2. Indépendance des facteurs de développement

Les facteurs de développement individuels  $f_{i,j}$  sont calculés tels que

$$f_{i,j} = \frac{C_{i,j+1}}{C_{i,j}}$$

Les calculs montrent que ces coefficients sont proches de 3 pour la première année de développement, de 1,5 pour la deuxième année de développement, et globalement proches de 1 pour les années de développement suivantes.

En général, quelque soit l'année de développement, les années de survenance se



**FIGURE 30** – Vérification de l’indépendance des facteurs de développement pour GOC 11

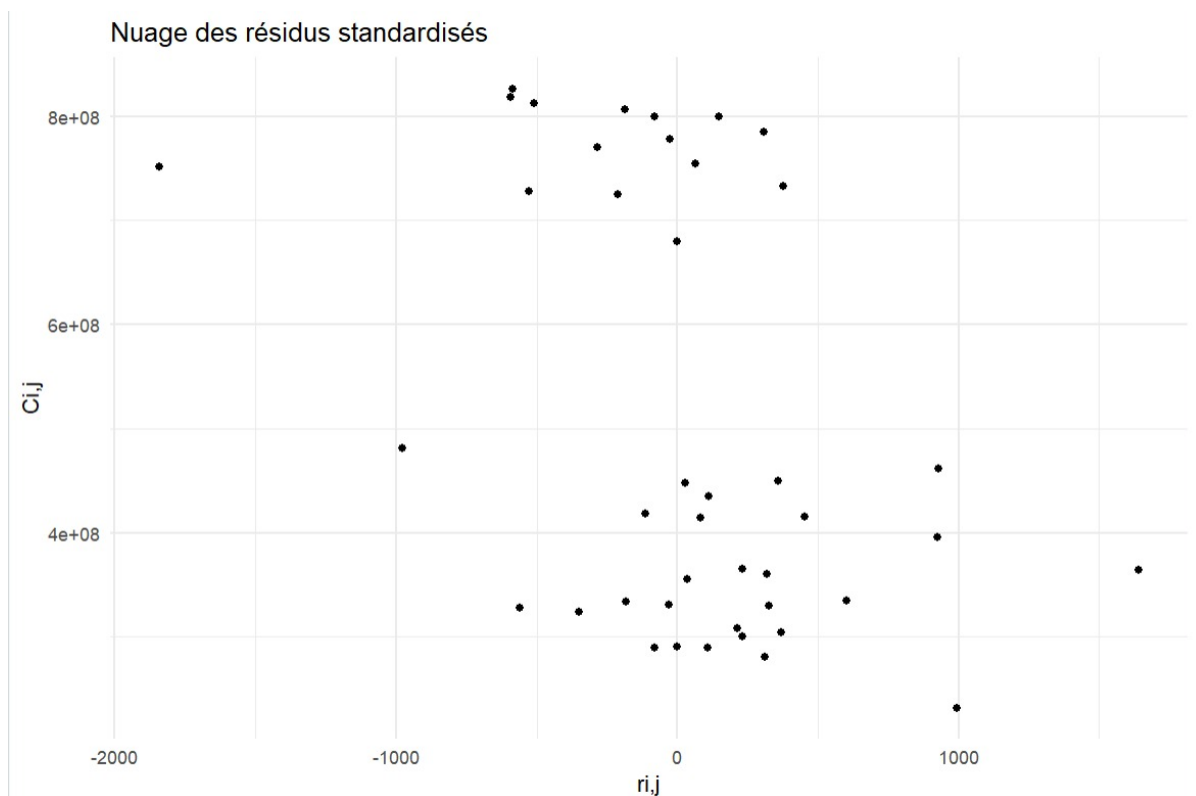
comportent selon la même dynamique pour tous les groupes de contrats. Donc l’hypothèse d’indépendance est vérifiée.

### II.1.1.3. Existence des volatilités de réserves $\sigma_j$

Pour vérifier la validité de l’hypothèse, nous devons d’abord estimer les résidus de Pearson de notre modèle. Ensuite, nous examinerons graphiquement s’il existe une tendance particulière parmi ces résidus. Les résidus, calculés par la méthode des moindres carrés, s’expriment comme suit :

$$r_{i,j} = \frac{C_{i,j+1} - \hat{f}_j \cdot C_{i,j}}{\sqrt{C_{i,j}}}$$

La figure ci-dessous montre le nuage des Résidus de Pearson pour le GOC 11.



**FIGURE 31** – Résidus de Pearson pour GOC 11

Sur la base de ce graphique, on peut conclure qu'il n'y a ni structure non-aléatoire ni tendance apparente pour nos résidus standardisés. Étant donné que des résultats similaires sont observés pour les autres groupes de contrats, les hypothèses de Mack sont donc validées.

### II.1.2. Facteurs de développement

Étant donné que les hypothèses du modèle Mack Chain Ladder sont vérifiées, les coefficients de développement peuvent être déterminés de manière empirique, avec la formule suivante :

$$\hat{\lambda}_j = \frac{\sum_{i=1}^{n-j} C_{i,j+1}}{\sum_{i=1}^{n-j} C_{i,j}}$$

Les estimations de ces coefficients sont présentées dans le tableau suivant :

**TABLE 5** – Facteur de développement pour GOC 11

| <b>j</b> | $\lambda_j$ |
|----------|-------------|
| 1        | 6,955071001 |
| 2        | 1,544103351 |
| 3        | 1,05306292  |
| 4        | 1,068362036 |
| 5        | 1,084943501 |
| 6        | 1,044618164 |
| 7        | 1,032962261 |
| 8        | 1,080042468 |
| 9        | 1           |

### II.1.3. Complétion du triangle à partir des facteurs de développement

Le tableau final rempli pour le triangle des charges est le suivant :

**TABLE 6** – Triangle des charges pour le GOC 11 (Données falsifiées)

|      | 0           | 1                 | 2                  | 3                  | 4                  | 5                  | 6                  | 7                  | 8                  | 9                  |
|------|-------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 2014 | 144558566,6 | 448131556,6       | 672197334,9        | 702694927,9        | 721232020,1        | 740200422,3        | 794605153,3        | 852055105,9        | 906331016,1        | 906331016,1        |
| 2015 | 375678810,5 | 1089468550        | 1416309116         | 1511754187         | 1566902980         | 1625552158         | 1763073871         | 1902920890         | 2069160059         | <b>2069160059</b>  |
| 2016 | 362270667,2 | 8332225345        | 13331560552        | 14029867694        | 15065692826        | 16534240820        | 17618683911        | 17618683911        | <b>19028926862</b> | <b>19028926862</b> |
| 2017 | 181981694,9 | 547764901,6       | 766870862,2        | 772852455          | 837277435,6        | 869680072,4        | 928232152,9        | <b>958828783</b>   | <b>1035575806</b>  | <b>1035575806</b>  |
| 2018 | 167501989,8 | 499155929,6       | 748733894,5        | 790812739,3        | 864927709,3        | 905045651,2        | <b>945427126,1</b> | <b>976590541,3</b> | <b>1054759259</b>  | <b>1054759259</b>  |
| 2019 | 151900912   | 440512644,8       | 682794599,5        | 748158526,5        | 768643106,9        | <b>833934343,4</b> | <b>871142962,2</b> | <b>899857803,6</b> | <b>971884643,4</b> | <b>971884643,4</b> |
| 2020 | 115743858   | 348389012,5       | 522583518,7        | 547526430          | <b>584956451,6</b> | <b>634644700,4</b> | <b>662961381,4</b> | <b>684814087,2</b> | <b>739628297,2</b> | <b>739628297,2</b> |
| 2021 | 324289482,5 | 494541460,8       | 697303459,8        | <b>734304417,6</b> | <b>784502962,7</b> | <b>851141390,8</b> | <b>889117756,5</b> | <b>918425087,7</b> | <b>991938098,7</b> | <b>991938098,7</b> |
| 2022 | 168822838,5 | 531791941,2       | <b>821141718,4</b> | <b>864713895,8</b> | <b>923827498,4</b> | <b>1002300640</b>  | <b>1047021454</b>  | <b>1081533648</b>  | <b>1168102271</b>  | <b>1168102271</b>  |
| 2023 | 149128386,4 | <b>1037198516</b> | <b>1601541704</b>  | <b>1686524183</b>  | <b>1801818410</b>  | <b>1954871174</b>  | <b>2042093936</b>  | <b>2109405968</b>  | <b>2278248029</b>  | <b>2278248029</b>  |

### II.1.4. Calcul des meilleures estimations non-actualisées

La charge ultime est obtenue en appliquant les coefficients du modèle de Mack Chain Ladder sur le triangle des charges. Par construction, le Best Estimate est défini par la différence entre la charge ultime et les règlements :

$$\text{Best estimate}(i) = \text{Charges ultime}(i) - \text{Règlements}(i)$$

**TABLE 7** – Best estimate par année de souscription ( Résultats des données falcifiées)

| Année de souscription | Best estimate |
|-----------------------|---------------|
| 2014                  | 145742168,40  |
| 2015                  | 153174034,98  |
| 2016                  | 2984779038,98 |
| 2017                  | 295762854,00  |
| 2018                  | 373971540,94  |
| 2019                  | 436360422,06  |
| 2020                  | 431627064,59  |
| 2021                  | 532017809,46  |
| 2022                  | 824566066,72  |
| 2023                  | 2193448124,32 |

Le best estimate total non actualisé sera donc égal à la somme des best estimates de chaque année de survenance, soit une valeur de 8 371 449 124,46 MAD. Il s'agit de la meilleure estimation des coûts futurs qui doit être préservée pour honorer les engagements pour ce groupe de contrat (GOC1), sans tenir compte de la valeur temporelle de l'argent.

### II.1.5. Calcul des flux de trésorerie

Maintenant que nous disposons des montants des provisions économiques pour chaque année de survenance, nous pouvons calculer les flux BE (Best Estimate) pour chaque année future. Les flux de trésorerie futurs représentent les montants d'argent que l'on prévoit dépenser dans le futur pour ces sinistres. On a les montants suivants :

**TABLE 8** – Flux de trésorerie futurs non actualisés ( Résultats des données falcifiées)

| Année de développement | Flux BE          |
|------------------------|------------------|
| 0                      | 2 569 240 083,95 |
| 1                      | 1 342 058 956,22 |
| 2                      | 990 404 711,47   |
| 3                      | 816 810 593,16   |
| 4                      | 758 786 875,93   |
| 5                      | 229 799 214,73   |
| 6                      | 160 334 411,36   |
| 7                      | 110 362 426,49   |
| 8                      | 93 482 975,12    |
| 9                      | 26 782 328,67    |

## II.1.6. Calcul du Best Estimate total actualisé

Finalement, en actualisant ces flux de trésorerie futurs, on obtient le Best Estimate total en les sommant. La formule est la suivante :

$$BE = \sum_{t=1}^{n-1} \frac{CF(t)}{(1 + r(t))^t}$$

où  $CF(t)$  et  $r(t)$  sont respectivement le flux BE futur et le taux d'actualisation de l'année  $t$ .

Les taux d'actualisation utilisés, comme mentionné précédemment, sont les taux zéro-coupon dérivés des taux moyens pondérés fournis par Bank Al Maghreb. Dans la suite, nous expliquerons la procédure de construction de la courbe des taux utilisée.

## II.1.7. Construction de la courbe d'actualisation

### II.1.7.1. Récupération des données de BAM

La première étape consiste à analyser les taux moyens pondérés des transactions des bons du Trésor sur le marché secondaire, tels qu'ils étaient enregistrés au 29 décembre 2023. Ces données, qui sont diffusées par la Banque Al-Maghrib (BAM), fournissent une vue détaillée de la performance des titres de dette publique. Pour les bons ayant une maturité d'un an ou moins, les taux sont exprimés en termes monétaires, reflétant les conditions de liquidité et les attentes à court terme. Pour les maturités supérieures à un an, les taux sont exprimés en termes actuariels, prenant en compte les anticipations de rendement à plus long terme et les risques associés à des périodes prolongées.

**TABLE 9** – Taux moyens pondérés -BAM-

| Date de valeur | Échéance   | Taux moyen pondéré (%) |
|----------------|------------|------------------------|
| 29/12/2023     | 19/02/2024 | 2,92                   |
| 29/12/2023     | 20/05/2024 | 2,98                   |
| 29/12/2023     | 15/07/2024 | 3,00                   |
| 29/12/2023     | 18/08/2025 | 3,23                   |
| 29/12/2023     | 17/05/2027 | 3,41                   |
| 29/12/2023     | 17/06/2030 | 3,65                   |
| 29/12/2023     | 18/09/2034 | 3,91                   |
| 29/12/2023     | 19/07/2038 | 4,17                   |
| 29/12/2023     | 16/04/2040 | 4,35                   |
| 29/12/2023     | 20/02/2051 | 4,99                   |

### II.1.7.2. Interpolation linéaire des taux actuariels

Pour déterminer un taux actuariel  $r_k$  pour une maturité pleine  $T_k$  où  $k$  est un nombre entier naturel non nul, il est nécessaire d'identifier deux taux actuariels,  $r_i$  et  $r_j$ , dont les maturités, bien que non pleines, encadrent le plus étroitement possible  $T_k$ . En d'autres termes, les maturités doivent satisfaire la condition  $T_i < T_k < T_j$ . L'approche utilisée pour obtenir  $r_k$  repose sur une interpolation linéaire entre  $r_i$  et  $r_j$ . Une fois ces deux taux  $r_i$  et  $r_j$  trouvés, il suffit d'appliquer la formule suivante pour obtenir le taux actuariel  $r_k$  :

$$r_k = r_i + \frac{(r_i - r_j) \cdot (T_k - T_i)}{T_j - T_i}$$

Cette formule permet de calculer le taux actuariel  $r_k$  en fonction des taux  $r_i$  et  $r_j$  ainsi que de leurs maturités respectives  $T_i$  et  $T_j$ , encadrant  $T_k$ , en utilisant une interpolation linéaire.

### II.1.7.3. Calcul des taux zéro-coupon

Maintenant, nous allons convertir ces taux interpolés en des taux zéro-coupon en utilisant la méthode de Bootstrap. Cette méthode stipule que :

- Pour des maturités inférieures ou égales à un an, le taux zéro-coupon est égal au taux actuariel interpolé ;
- Pour des maturités supérieures à un an, nous utilisons la formule suivante pour calculer le taux zéro-coupon :

$$R_n = \left[ \frac{1 + T_n}{1 - T_n * \sum_{i=1}^{n-1} \left( \frac{1}{1+R_i} \right)^i} \right]^{1/n} - 1$$

On obtient les taux zéro-coupons présentés dans le tableau ci-dessous :

TABLE 10 – Taux actuariels interpolés et Taux Z-C

| Année | Taux interpolés | Taux Z-C (%) |
|-------|-----------------|--------------|
| 1     | 0,03            | 0,03         |
| 2     | 0,032644741     | 0,032688023  |
| 3     | 0,033662009     | 0,03372653   |
| 4     | 0,034536557     | 0,034632813  |
| 5     | 0,035303194     | 0,035438391  |
| 6     | 0,036069831     | 0,0362582    |
| 7     | 0,03676435      | 0,037011436  |
| 8     | 0,037366667     | 0,037672717  |
| 9     | 0,037968983     | 0,038347432  |
| 10    | 0,0385713       | 0,039036128  |
| 11    | 0,039181714     | 0,039749667  |
| 12    | 0,039850286     | 0,040553546  |
| 13    | 0,040518857     | 0,041376328  |
| 14    | 0,041187429     | 0,04221981   |
| 15    | 0,041937363     | 0,043200616  |
| 16    | 0,042954631     | 0,04460254   |
| 17    | 0,043769763     | 0,045743424  |
| 18    | 0,044351287     | 0,046552292  |
| 19    | 0,044932812     | 0,047391005  |
| 20    | 0,045514336     | 0,048262129  |
| 21    | 0,046095861     | 0,049168691  |
| 22    | 0,046677385     | 0,050114241  |
| 23    | 0,04725891      | 0,05110294   |
| 24    | 0,047840434     | 0,052139681  |
| 25    | 0,048421959     | 0,053230241  |
| 26    | 0,049003483     | 0,054381479  |
| 27    | 0,049585008     | 0,055601608  |

On obtient finalement la courbe de taux suivante :

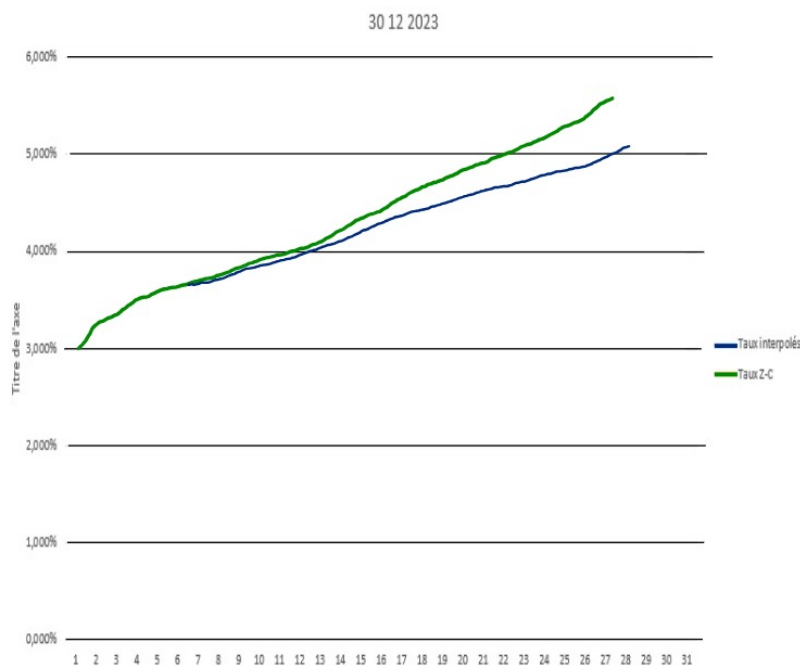


FIGURE 32 – Courbe de taux

#### II.1.7.4. Prime de liquidité

La liquidité, bien que complexe à appréhender dans le cadre des contrats d'assurance, est essentielle pour garantir que les assureurs puissent honorer leurs engagements envers les assurés. La liquidité d'un actif se réfère à sa capacité à être converti rapidement et facilement en trésorerie, c'est-à-dire à pouvoir être vendu facilement contre du cash. Pour un assureur, il est crucial de détenir suffisamment de liquidités pour régler les sinistres dès qu'ils surviennent. Cela signifie que la liquidité des actifs détenus doit correspondre aux flux de trésorerie futurs prévus par les engagements de l'assureur.

Par définition, un contrat d'assurance est qualifié de liquide si le montant et le moment de la survenance des sinistres sont imprédictibles. En d'autres termes, la liquidité du contrat d'assurance dépend de la prévisibilité de ses flux de trésorerie. Les contrats d'assurance très liquides présentent une prime de liquidité faible ou inexistante, tandis que ceux qui sont moins liquides ont une prime de liquidité plus élevée. Par exemple, les contrats qui peuvent être rachetés ou résiliés sans pénalités sont considérés comme très liquides. En revanche, un contrat d'assurance vie entière est plus liquide qu'un contrat décès temporaire, qui est illiquide.

La liquidité des passifs d'assurance n'est pas directement observable. Pour l'évaluer,

on détermine d'abord la prime de liquidité d'un portefeuille d'actifs de référence, puis on en attribue une partie aux passifs. La Task Force (Un groupe de travail mis en place par l'EIOPA) propose une formule pour ce calcul :

$$PL_{\text{passif},i} = G(i) \times PL_{\text{actifs}} \quad (0.1)$$

Avec :

- $G(i)$  représentant une portion de la prime de liquidité, définie en fonction de l'imprédictibilité et de la maturité des flux liés aux contrats, prenant trois valeurs selon le QIS5 :
  - 100 % pour les contrats non rachetables ni transférables ;
  - 75 % pour les contrats vie avec participations aux bénéfices ;
  - 50 % pour les autres contrats, y compris IARD.

$$PL_{\text{actifs}} = \max(0; x \times (\text{spread} - y)) \quad (0.2)$$

Où :

- Le spread est l'écart entre le taux de rendement des obligations corporatives et le taux sans risque (obligations d'État).
- $y$  représente le risque de perte à long terme, estimé à 0,4 %.
- $x$  est le risque d'illiquidité, avec  $1 - x$  représentant le risque de crédit. La Task Force propose que la moitié du spread soit attribuée à la prime de liquidité, soit  $x = 50\%$ .

Faute de données pour calculer le spread, nous ne prendrons pas en compte la prime de liquidité et actualiserons nos flux avec la courbe de taux sans risque au 29/12/2023.

### II.1.8. Calcul du Best estimate actualisé

Nous obtenons finalement un Best Estimate (BE) actualisé de 6 476 676 818,48 MAD, soit une diminution par rapport à la valeur non actualisée de 1 894 772 305,98 MAD. Par conséquent, l'effet de l'actualisation réduit le BE, ce qui doit être pris en considération dans notre analyse.

## II.1.9. Mesure de l'incertitude avec le modèle de Mack

La méthode de Mack, première à introduire la notion d'incertitude dans la méthode déterministe Chain-Ladder, permet de mesurer l'erreur associée à la prédiction du montant des provisions que doit constituer l'assureur.

**TABLE 11** – Estimation des paramètres ( $\sigma_j$ ) ( $j = 1, \dots, n - 1$ )

| $j$ | $\sigma_j^2$ |
|-----|--------------|
| 0   | 15421644990  |
| 1   | 16250722,23  |
| 2   | 528845,8702  |
| 3   | 1026704,454  |
| 4   | 2865159,11   |
| 5   | 1448502,277  |
| 6   | 2881132,195  |
| 7   | 329458,0157  |
| 8   | 37673,5869   |

**TABLE 12** – Mesures de risque conditionnel de prédiction ( Résultats des données falcifiées)

| $i$ | $R_i$            | $\sqrt{\text{MSEP}(R_i)}$ | $\text{MSEP}(R_i)/R_i^2$ (volatilité de Mack) |
|-----|------------------|---------------------------|---|
| 0   | -                | -                         | -   |
| 1   | 50 694 421,45    | 9 358 935,72              | 3,4083%                                       |
| 2   | 1 876 451 658,94 | 106 238 104,57            | 0,3205%                                       |
| 3   | 132 715 259,92   | 61 445 237,34             | 21,4356%                                      |
| 4   | 175 555 209,54   | 74 979 976,38             | 18,2416%                                      |
| 5   | 227 052 710,21   | 91 704 376,91             | 16,3127%                                      |
| 6   | 210 222 760,45   | 85 545 841,85             | 16,5592%                                      |
| 7   | 318 937 122,40   | 103 087 605,26            | 10,4473%                                      |
| 8   | 664 928 835,46   | 177 975 353,25            | 7,1642%                                       |

Les volatilités de Mack obtenues montrent généralement des niveaux de variabilité légèrement élevés. Toutefois, en comparaison avec une branche de réassurance caractérisée par des sinistres de graves ampleurs, ces valeurs sont considérées comme acceptables ou normales.

## II. 2. Calcul du Risk Adjustment via la métrique du quantile

### II.2.1. Calcul du RA par année de souscription

Nous procéderons maintenant au calcul de l'ajustement pour risque (RA) pour le groupe de contrats GOC11. Conformément à la norme IFRS 17 qui introduit la notion de cohorte dans le choix des groupes de contrats, nous affinerons la granularité du calcul pour intégrer cette notion. Ainsi, les RA calculés correspondent aux ajustements pour risques par année de souscription (les contrats sont d'une durée inférieure à un an). Comme mentionné précédemment, la formule du calcul est la suivante :

$$RA_r = \rho_\beta(\sigma_r) \hat{BE}$$

Avec  $\rho_\beta(\sigma_r) = \frac{\exp(\mathcal{N}_\beta \sqrt{\log(\sigma_r^2+1)})}{\sqrt{\sigma_r^2+1}} - 1$  où  $\mathcal{N}_\beta$  est le quantile d'ordre  $\beta$  d'une loi normale centrée réduite

On obtient les résultats suivants :

**TABLE 13** – RA par année de souscription du GOC11 pour les niveaux de confiance 65%, 70%, et 75% ( Résultats des données fafcifiées)

| i | 65%     |             | 70%     |             | 75%     |             |
|---|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|
|   | Taux RA | RA          | Taux RA | RA          | Taux RA | RA          |
| 0 | –       | –           | –       | –           | –       | –           |
| 1 | 2%      | 4078857,072 | 6%      | 12073651,43 | 10%     | 21046466,96 |
| 2 | 3%      | 112412969,6 | 6%      | 189888638,2 | 8%      | 275387911   |
| 3 | 3%      | 10613306,15 | 2%      | 7447953,223 | 9%      | 28119223,95 |
| 4 | 3%      | 10412678,61 | 3%      | 11464207,85 | 9%      | 36453674,87 |
| 5 | 2%      | 9888133,425 | 3%      | 14803222,39 | 9%      | 42970206,7  |
| 6 | 2%      | 9932791,021 | 3%      | 14263353,63 | 9%      | 41870297,87 |
| 7 | 1%      | 3134896,482 | 4%      | 24359001,97 | 10%     | 55564235,6  |
| 8 | 1%      | 4343875,554 | 5%      | 43488049,68 | 10%     | 87737758,01 |
| 9 | 7%      | 157448564,1 | 13%     | 299382080,4 | 15%     | 337389780,2 |

**TABLE 14** – RA par année de souscription du GOC11 pour les niveaux de confiance 80%, 85%, et 90% ( Résultats des données falcifiées)

| i | 80%     |              | 85%     |              | 90%     |              |
|---|---------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|
|   | Taux RA | RA           | Taux RA | RA           | Taux RA | RA           |
| 0 | –       | –            | –       | –            | –       | –            |
| 1 | 15%     | 31477549,99  | 22%     | 44248391,56  | 30%     | 61306110,84  |
| 2 | 11%     | 372960200,54 | 14%     | 489921864,11 | 19%     | 642182091,96 |
| 3 | 16%     | 52671573,07  | 26%     | 83477158,56  | 39%     | 125869523,00 |
| 4 | 17%     | 66071461,63  | 26%     | 103141825,32 | 39%     | 154003662,57 |
| 5 | 17%     | 76305460,39  | 26%     | 117959410,13 | 38%     | 174994581,95 |
| 6 | 17%     | 74549088,86  | 26%     | 115391801,12 | 38%     | 171331252,30 |
| 7 | 17%     | 92290083,32  | 25%     | 137889826,64 | 36%     | 199846400,57 |
| 8 | 16%     | 139586326,39 | 24%     | 203639049,11 | 34%     | 290135378,49 |
| 9 | 18%     | 404867736,18 | 21%     | 466707292,32 | 42%     | 933617197,57 |

On observe que le RA augmente avec le niveau de confiance pour toutes les années de souscription. Ce résultat est prévisible, car une prudence accrue entraîne des montants plus élevés préservés sous forme d’ajustements pour risque.

### II.2.2. Calcul du RA global du triangle

On passe maintenant calculer le RA total de ce groupe de contrats, GOC 11, en éliminant l’effet de la cohorte sur la maille. On obtient donc le tableau suivant :

**TABLE 15** – RA global du GOC 11 ( Résultats des données falcifiées)

| Niveau de confiance | RA               |
|---------------------|------------------|
| 65%                 | 259 067 072,74   |
| 70%                 | 453 367 377,29   |
| 75%                 | 647 667 681,85   |
| 80%                 | 971 501 522,77   |
| 85%                 | 1 295 335 363,70 |
| 90%                 | 1 683 935 972,80 |

On constate que ces montants du RA sont plus grands que ceux obtenus pour chaque année de souscription. En général, le RA dépend de la granularité du calcul : plus la granularité est fine, plus le Risk Adjustment est réduit.

### II.2.3. Comparaison des RA entre les groupes de contrats

Nous allons maintenant procéder à la comparaison des RA obtenus pour chaque groupe de contrats. Cette comparaison tire sa valeur de l’utilisation de données réelles et

non falsifiées. Nous effectuerons donc cette analyse avec les données réelles, mais nous respecterons la confidentialité en ne divulguant pas les résultats calculés.

Une analyse des résultats des calculs effectués montre que les ajustements pour risque (RA) augmentent généralement avec le niveau de confiance pour tous les groupes de contrats, conformément aux critères IFRS 17. Plus le niveau de prudence est élevé, plus le montant du RA doit être important pour faire face à tous types de risques potentiels. Les caractéristiques spécifiques des groupes de contrats, telles que le type de contrat et la ligne d'activité, influencent l'incertitude perçue et, par conséquent, le RA requis. Les risques présentant une large distribution de probabilité nécessitent un ajustement pour risque plus élevé que ceux avec une distribution de probabilité plus restreinte. On citera les exemples suivants :

**S\_021\_AM\_PR\_REINS\_FIRE\_OTH\_DAMAG** : Le RA pour ce groupe de contrats augmente considérablement avec le niveau de confiance, passant de 11% à 68% en pourcentage du BE. Cela indique que ces contrats, qui couvrent des risques liés aux incendies et autres dommages au Maroc, sont exposés à des événements rares mais à impacts sévères. Cette large distribution de probabilité et la potentielle gravité des sinistres justifient un RA plus élevé pour compenser l'incertitude accrue.

**S\_025\_AM\_PR\_REINS\_GENERAL\_LIABIL** : Pour les contrats de responsabilité générale, le RA augmente de 8% à 69% en pourcentage du BE, avec le niveau de confiance. Ces contrats sont souvent exposés à des risques de responsabilité qui peuvent avoir des impacts financiers très variables et potentiellement élevés. La durée longue de ces risques et l'incertitude sur les résultats augmentent la nécessité d'un RA plus important.

**S\_031\_AM\_PR\_REINS\_MARINE\_AVIATN** : Le RA pour les contrats de réassurance maritime et aéronautique marocaine passe de 12% à 71% en pourcentage du BE, montrant une grande incertitude dans la prévision des sinistres pour ces risques. Ces contrats sont susceptibles à des événements rares mais avec des impacts potentiellement catastrophiques, nécessitant ainsi un RA élevé pour compenser l'incertitude et la variabilité des pertes.

## II.3. Méthode Coût du Capital

Cette méthode consiste à projeter le capital requis (SCR selon Solvabilité 2) et à appliquer le coût du capital sur le total de ce capital requis. Les formules pour calculer le ( $SCR_0$  nécessitent de connaître les volumes de primes et de réserves à  $t = 0$ ).

Étant donné que les groupes de contrats étudiés sont considérés comme profitables, seul un RA LIC sera calculé, et le volume de primes est nul. En effet, cette partie du passif concerne uniquement les sinistres déjà survenus.

Le volume de réserve pour chaque groupe de contrats correspond ici à la somme des réserves LIC :  $V = V_{res}$

Pour le groupe de contrats étudié GOC11, on a comme volume de reserve

$$V = 5\,841\,494\,697,38 \text{ MAD}$$

Les écarts type du risque de réserve pour chaque groupe de contrats sont donnés dans la norme solvabilité 2 :

| Groupe de contrats               | Sigma de reserves |
|----------------------------------|-------------------|
| S_010_AE_NP_REINS_PROPERTY       | 20%               |
| S_011_AM_NP_REINS_PROPERTY       | 20%               |
| S_016_AE_PR_REINS_CREDIT_SURETYS | 19%               |
| S_017_AM_PR_REINS_CREDIT_SURETYS | 19%               |
| S_020_AE_PR_REINS_FIRE_OTH_DAMAG | 10%               |
| S_021_AM_PR_REINS_FIRE_OTH_DAMAG | 10%               |
| S_025_AM_PR_REINS_GENERAL_LIABIL | 11%               |
| S_030_AE_PR_REINS_MARINE_AVIATN_ | 11%               |
| S_031_AM_PR_REINS_MARINE_AVIATN_ | 20%               |
| S_040_AE_PR_REINS_OTHER_MOTOR    | 8%                |
| S_041_AM_PR_REINS_OTHER_MOTOR    | 8%                |

**FIGURE 33** – Liste des sigma reserves pour les groupes de contrats étudiés

On a donc pour le GOC 11, qui correspond au dernier groupe de contrats cité dans le tableau ci-dessus :  $\sigma = 8\%$

Le  $SCR_0^{LIC}$  vaut alors :

$$SCR_0^{LIC} = 3 \times \sigma \times V = 1\,401\,958\,727,37 \text{ MAD}$$

La chronique des  $SCR^{LIC}$  projetés et actualisés est alors présentée dans le tableau suivant :

**TABLE 16** – Calcul des SCR(t) pour GOC11 (Résultats des données falcifiées)

| t  | Flux BE          | Taux Z-C | SCR(t)           | SCR actualisé (t) |
|----|------------------|----------|------------------|-------------------|
| 1  | 2 569 240 083,95 | 3,000%   | 1 401 958 727,37 | 1 361 124 978,03  |
| 2  | 1 342 058 956,22 | 3,269%   | 732 322 089,35   | 686 694 950,45    |
| 3  | 990 404 711,47   | 3,373%   | 540 434 713,57   | 489 244 835,26    |
| 4  | 816 810 593,16   | 3,463%   | 445 709 510,31   | 388 961 763,58    |
| 5  | 758 786 875,93   | 3,544%   | 414 047 674,86   | 347 879 656,77    |
| 6  | 229 799 214,73   | 3,626%   | 125 394 670,84   | 101 267 758,72    |
| 7  | 160 334 411,36   | 3,701%   | 87 489 771,28    | 67 837 910,24     |
| 8  | 110 362 426,49   | 3,767%   | 60 221 529,30    | 44 799 028,47     |
| 9  | 93 482 975,12    | 3,835%   | 51 010 909,27    | 36 356 228,70     |
| 10 | 26 782 328,67    | 3,904%   | 14 614 328,82    | 9 964 887,30      |

En utilisant cette méthode, l'ajustement pour risque à la clôture de 2023, calculé avec un coût du capital de 6%, est d'une valeur de : 212 047 919,85 MAD

L'évolution du RA en fonction du CoC est représentée par le graphique suivant :

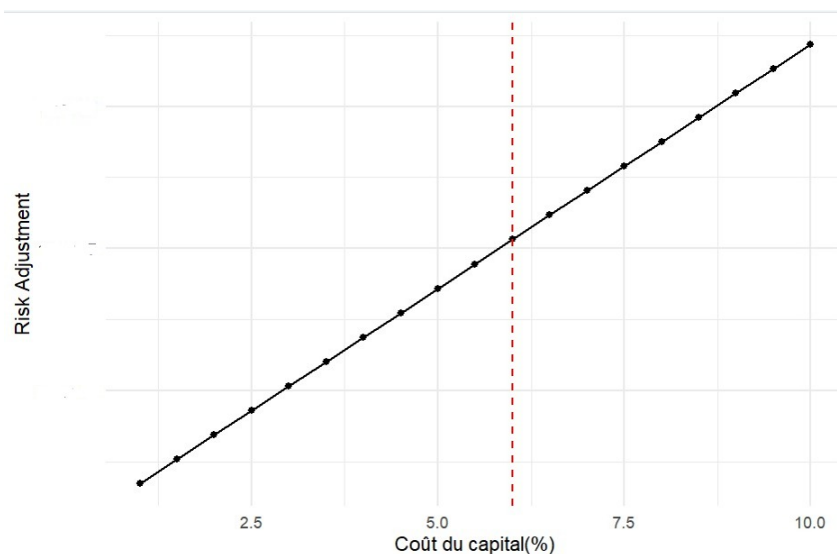


FIGURE 34 – Ajustement pour risque en fonction du coût du capital pour GOC 11

L'ajustement pour risque (RA) varie linéairement en fonction du coût du capital (CoC). Ainsi, il représente 4% du BE à la clôture lorsque le CoC est de 2%, 13% pour un CoC de 6%, et atteint 22% avec un CoC de 10%.

### III. Méthodes de calcul du RA : Comparaisons

#### III.1. Risque de provisionnement

Le risque de provisionnement non vie se manifeste par l'insuffisance des provisions pour couvrir la sinistralité des assurés. Ce risque peut provenir soit d'une estimation incorrecte des provisions, soit de la nature aléatoire des paiements futurs. Le risque de provisionnement est calculé comme la différence entre la provision constituée et son espérance mathématique. Pour estimer ce risque, on utilise la notion de *Claims Development Results* (CDR), qui, selon le signe, représente un Boni ou un Mali pour la société d'assurance.

Avec la réglementation Solvabilité II, les sociétés d'assurance doivent évaluer leurs provisions techniques selon l'approche de la Meilleure Estimation (*Best Estimate*). Les provisions doivent refléter la meilleure estimation de la dépense nécessaire pour éteindre l'obligation à la date de clôture. Ces provisions sont essentielles dans le calcul du capital

requis (SCR et MCR). Une modélisation précise des provisions techniques est donc cruciale pour une estimation correcte des capitaux requis, minimisant ainsi les Boni/Mali. Les Boni/Mali correspondent à l'écart entre les charges d'une année à l'autre :

- Un Mali, dû à un sous-provisionnement, est défavorable car l'entreprise doit disposer de provisions suffisantes pour couvrir tous les sinistres des assurés.
- Un Boni, résultant d'un sur-provisionnement, peut faire l'objet d'une reprise sur provisions pour constituer le résultat de l'entreprise. Toutefois, fiscalement, un trop haut niveau de provisions non justifié peut être considéré comme une fraude fiscale.

Pour une société d'assurance, il est important de minimiser les Boni/Mali en modélisant précisément les charges afin de réduire leurs variations dans le temps. Cette modélisation permet également une meilleure analyse financière de l'entreprise à court terme.

Une fois les provisions calculées, on procède au calcul des Boni/Mali, qui sont considérés comme l'évaluation du risque de provisionnement à un an. Le Boni/Mali, ou CDR, représente l'écart entre les prévisions et les réalisations effectives. Soit :

$CDR_{i,T}$  : le Boni/Mali de l'année T pour les survenances  $i = 0, \dots, n$

$R_{i,T-1}$  : la provision de l'année T-1 pour les survenances  $i = 0, \dots, n$

$R_{i,T}$  : la provision de l'année T pour les survenances  $i = 0, \dots, n$

$C_{i,T}$  : le paiement effectué en T pour les survenances  $i = 0, \dots, n$

$C_{i,T-1}$  : le paiement effectué en T-1 pour les survenances  $i = 0, \dots, n$

Ainsi, la formule pour calculer le CDR est :

$$CDR_{i,T} = (R_{i,T-1} + C_{i,T-1}) - (R_{i,T} + C_{i,T})$$

La production d'un Mali dans l'année indique une insuffisance des provisions techniques pour couvrir les sinistralités de l'année T, tandis que la production d'un Boni traduit un sur-provisionnement.

Pour la Société Centrale de Réassurance, les CDR des groupes de contrats étudiés sont

positifs (BONI), ce qui indique un sur-provisionnement pour ces groupes de contrats.

## III.2. Comparaison des CDR et ajustements pour risque

Les CDR, peuvent être assimilés aux montants de l'ajustement pour risque dans le cadre de l'IFRS 17. Il serait donc pertinent d'évaluer si les montants de l'ajustement pour risque non-financier selon la norme IFRS 17 concordent avec ces CDR, et de quantifier cet ajustement par rapport à notre Boni.

### III.2.1. Méthode du quantile : Résultats et interprétations

Toujours, en raison de la confidentialité des données, les résultats ne seront pas affichés. Toutefois, nous pouvons effectuer une interprétation en comparant les BONI de la SCR avec les montants des RA calculés selon la méthode du quantile. En identifiant les montants les plus proches de ces BONI pour chaque groupe de contrats, ainsi que les niveaux de confiance correspondants, nous pouvons conclure que :

#### **Groupe de contrats S\_010\_AE\_NP\_REINS\_PROPERTY :**

Pour ce groupe de contrats, le RA le plus proche du BONI est de 63 084 260,73, avec un niveau de prudence de 70%. Ce niveau de confiance semble approprié pour une branche REINS\_PROPERTY, qui peut être sujette à des sinistres liés aux dommages matériels et aux risques liés à la propriété. Les risques associés à cette branche peuvent être modérés, justifiant un niveau de prudence de 70%.

#### **Groupe de contrats S\_011\_AM\_NP\_REINS\_PROPERTY :**

Le RA le plus proche du BONI pour ce groupe de contrats est de 22 577 406,83, avec un niveau de prudence de 74%. Ce niveau de confiance peut être jugé adéquat pour une branche REINS\_PROPERTY, qui peut englober des sinistres tels que les dommages aux biens et les pertes financières liées à la propriété. Une prudence accrue de 74% reflète une évaluation plus conservatrice des risques associés à cette catégorie de contrats.

#### **Groupe de contrats S\_016\_AE\_PR\_REINS\_CREDIT\_SURETYS :**

Le RA le plus proche du BONI pour ce groupe de contrats est de 3 803 598,93, avec

un niveau de prudence de 78%. Cette prudence accrue de 78% peut être justifiée par la nature des sinistres associés à cette branche, qui comprend les risques liés aux crédits et aux garanties financières. Les sinistres dans cette catégorie peuvent être sujets à des fluctuations importantes, d'où la nécessité d'un niveau de prudence plus élevé.

**Groupe de contrats S\_017\_AM\_PR\_REINS\_CREDIT\_SURETYS :**

Pour ce groupe de contrats, le RA le plus proche du BONI est de 2 447 543,11, avec un niveau de prudence de 80%. Un niveau de confiance élevé de 80% est justifié pour cette branche, qui concerne également les crédits et les garanties financières. Les sinistres dans cette catégorie peuvent être potentiellement graves et fréquents, ce qui nécessite une évaluation prudente et conservatrice des risques.

**Groupe de contrats S\_020\_AE\_PR\_REINS\_FIRE\_OTH\_DAMAG :**

Le RA le plus proche du BONI pour ce groupe de contrats est de 233 439 795,38, avec un niveau de prudence de 78%. Ce niveau de confiance peut être considéré comme approprié pour une branche impliquant des risques liés aux incendies et autres dommages matériels. Bien que les sinistres dans cette catégorie puissent être graves, le niveau de prudence de 78% semble être une estimation raisonnable des risques associés.

**Groupe de contrats S\_021\_AM\_PR\_REINS\_FIRE\_OTH\_DAMAG :**

Pour ce groupe de contrats, le RA le plus proche du BONI est de 318 837 509,24, avec un niveau de prudence de 78%. Ce niveau de confiance est également approprié pour une branche similaire à la précédente, couvrant les risques liés aux incendies et autres dommages matériels. Une prudence de 78% reflète une évaluation prudente mais réaliste des risques associés à cette catégorie de contrats.

**Groupe de contrats S\_025\_AM\_PR\_REINS\_GENERAL\_LIABIL :**

Le RA le plus proche du BONI pour ce groupe de contrats est de 83 912 933,54, avec un niveau de prudence de 72%. Ce niveau de confiance peut être jugé prudent mais légèrement moins conservateur que certains autres groupes de contrats. Cette catégorie peut inclure des sinistres liés à la responsabilité générale, qui peuvent être soumis à une certaine volatilité mais moins susceptibles de fluctuations extrêmes.

**Groupe de contrats S\_030\_AE\_PR\_REINS\_MARINE\_AVIATN :**

Pour ce groupe de contrats, le RA le plus proche du BONI est de 50 791 369,87, avec un niveau de prudence de 74%. Ce niveau de confiance peut être jugé insuffisant pour une branche impliquant des risques maritimes et aériens, où les sinistres peuvent être moins

fréquents mais de grande ampleur. Les événements imprévus et les sinistres de grande envergure justifient une évaluation plus prudente des risques. Ainsi, un niveau de prudence légèrement plus élevé pourrait être nécessaire pour mieux couvrir les éventualités graves et réduire l'impact financier potentiel.

**Groupe de contrats S\_031\_AM\_PR\_REINS\_MARINE\_AVIATN :**

Pour ce groupe de contrats, le RA le plus proche du BONI est de 74 876 592,72, avec un niveau de prudence de 74%. Bien que ce niveau de confiance soit cohérent avec celui du groupe de contrats précédent, qui concerne également des risques maritimes et aériens, il convient de noter que les sinistres dans cette catégorie peuvent être moins fréquents mais de grande ampleur. Ainsi, une prudence de 74% peut être considérée comme prudente mais peut nécessiter une réévaluation pour mieux couvrir les risques potentiels liés à des événements catastrophiques ou à grande échelle.

**Groupe de contrats S\_040\_AE\_PR\_REINS\_OTHER\_MOTOR :**

Le RA le plus proche du BONI pour ce groupe de contrats est de 13 243 723,70, avec un niveau de prudence de 74%. Ce niveau de confiance peut être considéré comme approprié pour une branche impliquant des risques liés aux autres types de véhicules motorisés. Bien que les sinistres dans cette catégorie puissent varier, une prudence de 74% semble être une estimation raisonnable des risques associés.

**Groupe de contrats S\_041\_AM\_PR\_REINS\_OTHER\_MOTOR :**

le RA le plus proche du BONI est de 512 655 396,09, avec un niveau de prudence de 90%. Ce niveau de confiance élevé de 90% semble excessivement prudent pour une branche impliquant des sinistres liés à d'autres types de véhicules motorisés, qui sont généralement fréquents mais pas nécessairement très graves. Une prudence aussi élevée pourrait indiquer une évaluation trop conservatrice des risques associés à cette catégorie de contrats. Il serait peut-être plus approprié d'opter pour un niveau de confiance légèrement inférieur, reflétant une estimation plus réaliste et équilibrée des risques, tout en prenant en compte la fréquence des sinistres et leur impact financier.

En général, en prenant un niveau de confiance bien adapté à chaque groupe de contrats, les RA seront plus proches des BONI. En effet, le total des RA représente 89% du total des BONI. Cela signifie que nous expliquons donc 89% de notre BONI. La méthode du quantile semble être utile et adaptée au contexte de la Société Centrale de Réassurance. Cette approche permet une meilleure estimation des risques, assurant ainsi une couverture

adéquate des sinistres potentiels et contribuant à la stabilité financière de la société.

### III.2.2. Méthode du coût du capital : Résultats comparatifs

Une comparaison entre les RA calculés selon la méthode du coût du capital et les BONI pour chaque groupe de contrats révèle un écart significatif. Cet écart démontre que, bien que la méthode du coût du capital soit adoptée dans le contexte de Solvabilité II, elle n'est pas idéale pour calculer le RA dans le cadre d'IFRS 17 pour la Société Centrale de Réassurance. En effet, le total des RA ne représente que 8% des BONI.

### III.3. Mise en évidence de l'effet de la mutualisation

Pour évaluer l'impact de la mutualisation sur le calcul du RA avec les deux méthodes, nous recalculerons le RA pour des groupes de contrats utilisant une segmentation moins fine et comparerons ces résultats à ceux obtenus précédemment. Pour ce faire, nous réorganiserons les groupes de contrats déjà étudiés.

La première nouvelle segmentation divisera les contrats en deux groupes selon leur nature : un groupe pour les affaires marocaines et un autre pour les affaires étrangères. La seconde segmentation créera cinq groupes de contrats selon leur ligne d'activité :

1. *REINS\_PROPERTY* (LOB 1)
2. *REINS\_CREDIT\_SURETYS* (LOB 2)
3. *REINS\_FIRE\_OTH\_DAMAG* (LOB 3)
4. *REINS\_MARINE\_AVIATN* (LOB 4)
5. *REINS\_OTHER\_MOTOR* (LOB 5)

Ces réarrangements permettront de comparer les résultats et d'évaluer l'impact de la mutualisation sur le calcul du RA

#### III.3.1. Segmentation selon la nature de l'affaire

Selon cette segmentation, nous obtenons deux groupes. Le premier groupe, composé des affaires marocaines, inclut les anciens groupes :

1. *S\_011\_AM\_NP\_REINS\_PROPERTY*
2. *S\_017\_AM\_PR\_REINS\_CREDIT\_SURETYS*

3. *S\_021\_AM\_PR\_REINS\_FIRE\_OTH\_DAMAG*
4. *S\_025\_AM\_PR\_REINS\_GENERAL\_LIABIL*
5. *S\_031\_AM\_PR\_REINS\_MARINE\_AVIATN*
6. *S\_041\_AM\_PR\_REINS\_OTHER\_MOTOR*

Le deuxième groupe contiendra le reste des groupes de contrats déjà étudiés. Nous étudierons l'effet de mutualisation pour les affaires marocaines et pour les affaires étrangères. Les résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

**TABLE 17** – Effet de mutualisation pour le groupe des affaires marocaines

| Niveau de confiance | Effet de mutualisation |
|---------------------|------------------------|
| 70%                 | -23%                   |
| 75%                 | -24%                   |
| 80%                 | -31%                   |
| 85%                 | -18%                   |
| 90%                 | -11%                   |

**TABLE 18** – Effet de mutualisation pour le groupe des affaires étrangères

| Niveau de confiance | Effet de mutualisation |
|---------------------|------------------------|
| 70%                 | -10%                   |
| 75%                 | -14%                   |
| 80%                 | -8%                    |
| 85%                 | -6%                    |
| 90%                 | -19%                   |

On constate d'après ces deux tableaux, qu'il y a un effet de mutualisation non-négligeable pour les deux groupes de contrats. le RA dépend donc fortement de la maille de calcul. Une segmentation moins fine conduit à un ajustement pour risque (RA) moins élevé, ce qui diminue notre prudence. On conclut donc que l'effet de la nature des contrats (affaire marocaine ou affaire étrangère) est important et doit être pris en considération. Ceci est logique, puisque le marché marocain présente des caractéristiques bien spécifiques et différentes des marchés étrangers.

Il est à noter qu'il n'est pas possible de faire cette comparaison avec la méthode du coût du capital, car on ne peut pas considérer une volatilité sigma de réserve commune pour un groupe de contrats contenant différentes lignes d'activité (LOB). Par conséquent,

il ne sera pas possible de calculer les ajustements pour risque pour ces groupes. Voilà l'un des inconvénients de cette méthode.

### III.3.2. Segmentation selon la ligne d'activité

#### III.3.2.1. Résultats avec la méthode du quantile

Selon cette segmentation, nous obtenons cinq groupes de contrats, chacun correspondant à une ligne d'activité spécifique. Les résultats de l'effet de mutualisation entre ces différents groupes sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

**TABLE 19** – Effet de mutualisation pour LOB 1 (méthode de quantile)

| Niveau de confiance | Effet de mutualisation |
|---------------------|------------------------|
| 70%                 | -15%                   |
| 75%                 | -10%                   |
| 80%                 | -12%                   |
| 85%                 | -16%                   |
| 90%                 | -9%                    |

**TABLE 20** – Effet de mutualisation pour LOB 2 (méthode de quantile)

| Niveau de confiance | Effet de mutualisation |
|---------------------|------------------------|
| 70%                 | -8%                    |
| 75%                 | -14%                   |
| 80%                 | -11%                   |
| 85%                 | -16%                   |
| 90%                 | -9%                    |

**TABLE 21** – Effet de mutualisation pour LOB 3 (méthode de quantile)

| Niveau de confiance | Effet de mutualisation |
|---------------------|------------------------|
| 70%                 | -25%                   |
| 75%                 | -30%                   |
| 80%                 | -22%                   |
| 85%                 | -19%                   |
| 90%                 | -20%                   |

**TABLE 22** – Effet de mutualisation pour LOB 4 (méthode de quantile)

| Niveau de confiance | Effet de mutualisation |
|---------------------|------------------------|
| 70%                 | -25%                   |
| 75%                 | -30%                   |
| 80%                 | -22%                   |
| 85%                 | -19%                   |
| 90%                 | -20%                   |

**TABLE 23** – Effet de mutualisation pour LOB 5 (méthode de quantile)

| Niveau de confiance | Effet de mutualisation |
|---------------------|------------------------|
| 70%                 | -7%                    |
| 75%                 | -11%                   |
| 80%                 | -12%                   |
| 85%                 | -10%                   |
| 90%                 | -6%                    |

### III.3.2.2. Résultats avec la méthode du coût du capital

On présentera maintenant les résultats de la comparaison en utilisant les RA calculés avec la méthode du coût de capital :

**TABLE 24** – Effet de mutualisation pour les 5 LOB (méthode du coût du capital)

| Groupe de contrats | Effet de mutualisation |
|--------------------|------------------------|
| LOB 1              | -20%                   |
| LOB 2              | -8%                    |
| LOB 3              | -15%                   |
| LOB 4              | -17%                   |
| LOB 5              | -19%                   |

On conclut donc que l'effet de la mutualisation selon les lignes d'activité n'est pas négligeable et doit être pris en considération. Cela est évident, puisque chaque ligne d'activité présente des contrats avec des caractéristiques bien spécifiques et doit donc être traitée séparément.

# Conclusion

Dans ce mémoire, l'étude des différentes méthodologies de calcul de l'ajustement pour risque sur un portefeuille de contrats Non-vie de la Société Centrale de Réassurance a été abordée. Pour cela, les flux de sinistres futurs générés par ces contrats ont été estimés. Deux méthodes distinctes ont été mises en place : le coût du capital et la Value at Risk. La comparaison entre ces deux méthodes s'est appuyée sur leur rapprochement avec les CDR et leur représentativité de l'effet de la mutualisation sur le résultat d'assurance.

Tout d'abord, la base de données du portefeuille non-vie a été nettoyée, puis un provisionnement pour les triangles des sinistres a été effectué afin d'estimer les flux de trésorerie, permettant ainsi le calcul des montants d'ajustement pour risque.

La méthode Value at Risk semble répondre aux critères fixés par la norme IFRS 17. Elle se distingue par sa transparence et la facilité de calibration du seuil de confiance pour l'assureur.

En revanche, la méthode par coût du capital est plus simple à mettre en œuvre et s'appuie sur les recommandations de l'EIOPA. Cependant, il est plus difficile de prendre en compte l'aversion au risque avec cette méthode. Une approche par modèle interne intégrant une méthode VaR pourrait être envisagée et nécessiterait une étude approfondie au sein des compagnies.

La comparaison basée sur le rapprochement des résultats du calcul du RA avec les CDR de la société Centrale de Réassurance a démontré que la méthode VaR est plus conforme à la SCR. De plus, l'incapacité de la méthode du coût du capital à calculer les ajustements pour risque pour certaines segmentations constitue un inconvénient majeur de cette méthode.

# Bibliographie

# Bibliographie

## Articles et Livres

- [1] Charpentier, A. (2003-2004). *Mathématiques de l'assurance non-vie*.
- [2] Charpentier, A., & Dutang, C. *Actuariat avec R*.
- [3] El Warari, O. (2019). *IFRS 17 en réassurance : Modélisation de l'ajustement pour risque non financier*. ISUP.
- [4] IASB. (2017). *IFRS 17 Insurance Contracts*.
- [5] Levy, A. (2017). *Solvabilité II : Exigences quantitatives et impacts comptables sur une société d'assurance mutuelle non-vie* (Master's thesis, Université Paris Dauphine).
- [6] Mack, T. (1993). Distribution-free calculation of the standard error of Chain Ladder reserve estimates. *Astin Bulletin*, 23.
- [7] Mack, T., & Murphy, D. (2007). Chain ladder reserve risk estimators. *CAS E Forum Summer*.
- [8] Therond, P. (2004-2005). *Mesures et comparaison de risques*. ISFA.

## Sites Web

- [9] Actuarial Lab. <https://www.actuariallab.net/>
- [10] IFRS. <https://www.ifrs.org/>
- [11] Institut des Actuaire. <https://www.institutdesactuaire.com/>

[12] Optimind. <https://www.optimind.com/fr/>

[13] Ressources Actuarielles. <https://www.ressources-actuarielles.net/>

# Annexes

## Annexe A : Code nettoyage de la base de données

```
# Installer les bibliothèques si elles ne sont pas déjà installées
install.packages("zoo")
install.packages("tidyr")
install.packages("dplyr")
install.packages("readxl")
install.packages("tidyr")
install.packages("reshape2")
install.packages("writexl")
install.packages("xlsx")
install.packages("openxlsx")
install.packages("ChainLadder")
# Charger les bibliothèques
library(dplyr)
library(readxl)
library(zoo)
library(tidyr)
library(reshape2)
library(writexl)
library(xlsx)
library(openxlsx)
library(ChainLadder)

# Lire les données depuis le fichier Excel
data <- read_excel("C:/Users/YasmPC/Desktop/Triangles SCR.xlsx")

# Convertir les colonnes en numériques, si nécessaire
data$PAID_LOSS_AMT <- as.numeric(gsub(",", "", data$PAID_LOSS_AMT))
data$INCURRED_LOSS_AMT <- as.numeric(gsub(",", "", data$INCURRED_LOSS_AMT))
```

```
# Convertir les colonnes en numériques, si nécessaire
data$PAID_LOSS_AMT <- as.numeric(gsub(",", "", data$PAID_LOSS_AMT))
data$INCURRED_LOSS_AMT <- as.numeric(gsub(",", "", data$INCURRED_LOSS_AMT))

# Grouper les données par "LIABILITY_CTRT_ID" et "UNDERWRITING_DT"
grouped_data <- data %>%
  group_by(LIABILITY_CTRT_ID, UNDERWRITING_DT) %>%
  summarise(
    all_paid_zero = all(PAID_LOSS_AMT == 0),
    all_incurred_zero = all(INCURRED_LOSS_AMT == 0)
  ) %>%
  filter(all_paid_zero | all_incurred_zero)

# Identifier les "LIABILITY_CTRT_ID" à supprimer
to_remove <- unique(grouped_data$LIABILITY_CTRT_ID)

# Supprimer toutes les lignes correspondant aux "LIABILITY_CTRT_ID" identifiés
cleaned_data <- data %>%
  filter(!LIABILITY_CTRT_ID %in% to_remove)

# Charger le package nécessaire
library(dplyr)
# Remplacer les zéros par la première valeur non nulle suivante
replace_zeros <- function(x) {
  non_zero <- na.locf(ifelse(x == 0, NA, x), fromLast = TRUE, na.rm = FALSE)
  x <- ifelse(x == 0, non_zero, x)
  return(x)
}

# Remplacer les valeurs négatives par leur valeur absolue
cleaned_data <- cleaned_data %>%
  mutate(
    PAID_LOSS_AMT = replace_zeros(PAID_LOSS_AMT),
    INCURRED_LOSS_AMT = replace_zeros(INCURRED_LOSS_AMT),
    PAID_LOSS_AMT = abs(PAID_LOSS_AMT),
    INCURRED_LOSS_AMT = abs(INCURRED_LOSS_AMT)
  )

# Remplacer les valeurs négatives par leur valeur absolue
cleaned_data$PAID_LOSS_AMT <- abs(cleaned_data$PAID_LOSS_AMT)
cleaned_data$INCURRED_LOSS_AMT <- abs(cleaned_data$INCURRED_LOSS_AMT)

# Supprimer la dernière colonne
cleaned_data <- cleaned_data %>%
  select(-last_col())

# Sauvegarder les données nettoyées dans un nouveau fichier CSV
write.csv(cleaned_data, "C:/Users/YasmPC/Desktop/cleaned_data.csv", row.names = FALSE)
```

## Annexe B : Code pour le calcul du RA pour chaque triangle (méthode VAR)

```
# Installer les packages si vous ne les avez pas déjà
install.packages("reshape2")
install.packages("readxl")
install.packages("ChainLadder")
install.packages("xlsx")
install.packages('openxlsx')
install.packages("writexl")

# Charger les packages
library(reshape2)
library(readxl)
library(writexl)
library(xlsx)
library(openxlsx)
library(ChainLadder)

# Spécifier le chemin vers le fichier
chemin <- "C:/Users/YasmPC/Desktop/fichier_agrégé_AE_AM.csv"

# Lire les données depuis le fichier Excel
data <- read.csv(chemin)

# Créer une liste pour stocker les tableaux croisés dynamiques pour chaque LIABILITY_CTRT_ID
paid_loss_tables <- list()
incurred_loss_tables <- list()

# Obtenir la liste des LIABILITY_CTRT_ID uniques
liability_ids <- unique(data$LIABILITY_CTRT_ID)
```

```

# Boucle sur chaque LIABILITY_CTRT_ID
for (liability_id in liability_ids) {
  # Sous-ensemble des données pour le LIABILITY_CTRT_ID actuel
  subset_data <- subset(data, LIABILITY_CTRT_ID == liability_id)

  # Créer un tableau croisé dynamique pour les pertes payées
  paid_loss_table <- dcast(subset_data, UNDERWRITING_DT ~ DEVELOPMENT, value.var = "PAID_LOSS_AMT")
  rownames(paid_loss_table) <- paid_loss_table$UNDERWRITING_DT
  paid_loss_table <- paid_loss_table[, -1]
  paid_loss_tables[[liability_id]] <- paid_loss_table

  # Créer un tableau croisé dynamique pour les pertes encourues
  incurred_loss_table <- dcast(subset_data, UNDERWRITING_DT ~ DEVELOPMENT, value.var = "INCURRED_LOSS_AMT")
  rownames(incurred_loss_table) <- incurred_loss_table$UNDERWRITING_DT
  incurred_loss_table <- incurred_loss_table[, -1]
  incurred_loss_tables[[liability_id]] <- incurred_loss_table
}

# Afficher les tableaux pour chaque LIABILITY_CTRT_ID
for (liability_id in liability_ids) {
  cat("Triangle pour", liability_id, "Règlements:\n")
  print(paid_loss_tables[[liability_id]])
  cat("\n")

  cat("Triangle pour", liability_id, "Charges:\n")
  print(incurred_loss_tables[[liability_id]])
  cat("\n")
}

# Fonction pour appliquer MackChainLadder à un triangle s'il est éligible
apply_mack_chain_ladder <- fonction(triangle) {
  # Vérifier si le triangle est éligible (ne contient pas de valeurs nulles ou négatives)
  if (!any(is.na(triangle)) && all(triangle >= 0)) {
    MackChainLadder(triangle)
  } else {
    message("Le triangle n'est pas éligible pour l'application de MackChainLadder.")
    return(NULL)
  }
}

# Fonction pour appliquer MackChainLadder à un triangle
apply_mack_chain_ladder <- fonction(triangle) {
  MackChainLadder(triangle)
}

# Appliquer MackChainLadder à chaque tableau de triangle
for (liability_id in liability_ids) {
  cat("Triangle pour", liability_id, "Règlements:\n")
  paid_triangle <- paid_loss_tables[[liability_id]]
  paid_mack_result <- apply_mack_chain_ladder(paid_triangle)

  print(paid_mack_result$FullTriangle)

  cat("\n")

  cat("Triangle pour", liability_id, "Charges:\n")
  incurred_triangle <- incurred_loss_tables[[liability_id]]
  incurred_mack_result <- apply_mack_chain_ladder(incurred_triangle)
  print(incurred_mack_result$FullTriangle)
}

```

```

    cat("\n")
}

# Fonction pour afficher les triangles complets
print_full_triangle <- fonction(triangle) {
  print(triangle)
}

# Appliquer MackChainLadder à chaque tableau de triangle
for (liability_id in liability_ids) {
  cat("Résultats pour", liability_id, "pertes payées:\n")
  paid_triangle <- paid_loss_tables[[liability_id]]
  paid_mack_result <- apply_mack_chain_ladder(paid_triangle)
  print_full_triangle(paid_mack_result$FullTriangle)

  cat("\n")

  cat("Résultats pour", liability_id, "pertes encourues:\n")
  incurred_triangle <- incurred_loss_tables[[liability_id]]
  incurred_mack_result <- apply_mack_chain_ladder(incurred_triangle)
  print_full_triangle(incurred_mack_result$FullTriangle)

  cat("\n")
}

# Calculer les meilleures estimations pour chaque LIABILITY_CTRT_ID
best_estimates_list <- list()
sum_best_estimates_list <- c()

for (liability_id in liability_ids) {
  cat("Meilleures estimations pour", liability_id, ":\n")
  sum_best_estimates <- 0
  # Récupérer les triangles complets
  paid_triangle <- paid_loss_tables[[liability_id]]
  incurred_triangle <- incurred_loss_tables[[liability_id]]

  # Appliquer MackChainLadder aux triangles
  paid_mack_result <- apply_mack_chain_ladder(paid_triangle)
  incurred_mack_result <- apply_mack_chain_ladder(incurred_triangle)

  # Calculer les meilleures estimations
  n <- ncol(paid_mack_result$FullTriangle)
  best_estimates <- rep(NA, nrow(paid_mack_result$FullTriangle))

  for (i in 1:nrow(paid_mack_result$FullTriangle)) {
    best_estimates[i] <- incurred_mack_result$FullTriangle[i, n] -
      paid_mack_result$FullTriangle[i, n - i + 1]
    sum_best_estimates <- sum_best_estimates + best_estimates[i]
  }

  best_estimates_list[[liability_id]] <- best_estimates
  print(best_estimates)

  sum_best_estimates_list <- c(sum_best_estimates_list, sum_best_estimates)

  cat("\n")
}

```

```

print(sum_best_estimates_list)
wb <- createworkbook()

# Afficher les colonnes IBNR, Mack.S.E et Volatilité pour chaque tableau de pertes encourues pour chaque LIABILITY_ID
for (liability_id in liability_ids) {
  cat("Colonnes IBNR, Mack.S.E Vol_Mack et Taux_RA pour", liability_id, ":\n")

  # Nettoyer le nom de la LIABILITY_CTRT_ID pour éviter les doublons de noms de feuilles
  cleaned_liability_id <- gsub("[^[:alnum:]]", "_", liability_id) # Remplacer les caractères spéciaux par des _

  # Créer un nom unique pour chaque feuille Excel
  sheet_name <- substr(cleaned_liability_id, 1, 20)

  # Créer une nouvelle feuille Excel
  addworksheet(wb, sheet_name)

  # Récupérer les triangles complets
  incurred_triangle <- incurred_loss_tables[[liability_id]]

  # Appliquer MackChainLadder aux triangles
  incurred_mack_result <- apply_mack_chain_ladder(incurred_triangle)
  incurred_mack_result_summary <- summary(incurred_mack_result)

  # Extraire les IBNR et Mack.S.E
  ibnr <- incurred_mack_result_summary$ByOrigin$IBNR
  mack_se <- incurred_mack_result_summary$ByOrigin$Mack.S.E

  # Calculer les volatilités de Mack
  volatilities <- abs(mack_se / ibnr)

  # Calculer les volatilités de Mack
  volatilities <- abs(mack_se / ibnr)

  # Calculer les taux du Risk Adjustment

  q_60 <- qnorm(0.60)
  q_65 <- qnorm(0.65)
  q_70 <- qnorm(0.70)
  q_75 <- qnorm(0.75)
  q_80 <- qnorm(0.80)
  q_85 <- qnorm(0.85)

  risk_adjustment_rates_60 <- abs((exp(q_60 * sqrt(log((volatilities) + 1))) / sqrt((volatilities) + 1) - 1))
  risk_adjustment_rates_65 <- abs((exp(q_65 * sqrt(log((volatilities) + 1))) / sqrt((volatilities) + 1) - 1))
  risk_adjustment_rates_70 <- abs((exp(q_70 * sqrt(log((volatilities) + 1))) / sqrt((volatilities) + 1) - 1))
  risk_adjustment_rates_75 <- abs((exp(q_75 * sqrt(log((volatilities) + 1))) / sqrt((volatilities) + 1) - 1))
  risk_adjustment_rates_80 <- abs((exp(q_80 * sqrt(log((volatilities) + 1))) / sqrt((volatilities) + 1) - 1))
  risk_adjustment_rates_85 <- abs((exp(q_85 * sqrt(log((volatilities) + 1))) / sqrt((volatilities) + 1) - 1))

  risk_adjustment_60 <- risk_adjustment_rates_60 * best_estimates_list[[liability_id]]
  risk_adjustment_65 <- risk_adjustment_rates_65 * best_estimates_list[[liability_id]]
  risk_adjustment_70 <- risk_adjustment_rates_70 * best_estimates_list[[liability_id]]
  risk_adjustment_75 <- risk_adjustment_rates_75 * best_estimates_list[[liability_id]]
  risk_adjustment_80 <- risk_adjustment_rates_80 * best_estimates_list[[liability_id]]
  risk_adjustment_85 <- risk_adjustment_rates_85 * best_estimates_list[[liability_id]]

  # Récupérer les meilleures estimations
  best_estimates <- best_estimates_list[[liability_id]]

```

```

# Récupérer les meilleures estimations
best_estimates <- best_estimates_list[[liability_id]]

# Créer un cadre de données avec les quatre colonnes
result_df <- data.frame(UNDERWRITING_DT = rownames(incurred_triangle),
                        IBNR = ibnr,
                        Mack.S.E = mack_se,
                        Volatility = volatilities,
                        Best_Estimate = best_estimates,
                        Taux_RA_60 = risk_adjustment_rates_60,
                        RA_60 = risk_adjustment_60,
                        Taux_RA_65 = risk_adjustment_rates_65,
                        RA_65 = risk_adjustment_65,
                        Taux_RA_70 = risk_adjustment_rates_70,
                        RA_70 = risk_adjustment_70,
                        Taux_RA_75 = risk_adjustment_rates_75,
                        RA_75 = risk_adjustment_75,
                        Taux_RA_80 = risk_adjustment_rates_80,
                        RA_80 = risk_adjustment_80,
                        Taux_RA_85 = risk_adjustment_rates_85,
                        RA_85 = risk_adjustment_85
)

# Écrire les résultats dans la feuille Excel
writeData(wb, sheet_name, result_df)

cat("\n")
print(result_df)
}

# Enregistrer le classeur Excel
saveWorkbook(wb, file = "C:/Users/YasmPC/Desktop/Résultats2_RA.xlsx")

# Créer une liste pour stocker les valeurs globales
global_values <- list()

# Calculer les valeurs globales pour chaque LIABILITY_CTRT_ID
for (liability_id in liability_ids) {
  i <- 1
  # Récupérer les triangles complets
  paid_triangle <- paid_loss_tables[[liability_id]]
  incurred_triangle <- incurred_loss_tables[[liability_id]]

  # Appliquer MackChainLadder aux triangles
  paid_mack_result <- apply_mack_chain_ladder(paid_triangle)
  incurred_mack_result <- apply_mack_chain_ladder(incurred_triangle)

  # Calculer l'erreur standard globale Mack.S.E
  global_mack_se <- summary(incurred_mack_result)$Totals[5, 1]
  global_ibnr <- summary(incurred_mack_result)$Totals[4, 1]
  i <- i + 1
  # Calculer la volatilité de Mack globale
  global_volatility <- abs(global_mack_se / global_ibnr)

  # Stocker les valeurs globales dans la liste
  global_values[[liability_id]] <- c(global_mack_se, global_ibnr, global_volatility)
}

```

```
# Créer un cadre de données pour les valeurs globales
global_df <- data.frame(
  Liability_ID = substr(liability_ids, 1, 20), # Les cinq premiers caractères de chaque LIABILITY_CTRT_ID
  Mack_SE_Global = sapply(global_values, `[`, 1), # Récupérer les valeurs globales de Mack.S.E
  IBNR_Global = sapply(global_values, `[`, 2), # Récupérer les valeurs globales d'IBNR
  Volatility_Global = sapply(global_values, `[`, 3), # Récupérer les valeurs globales de volatilité
  Best_Estimate_Global = abs(sum_best_estimates_list)
)

# Afficher le tableau
print(global_df)

q_values <- c(0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90)

for (q in q_values) {
  confidence_level <- paste0("Confidence_", q * 100)
  global_df[[paste0("Taux_RA_Global_", confidence_level)]] <- NA
  global_df[[paste0("RA_Global_", confidence_level)]] <- NA
}

# Calculer les taux RA globaux pour différents niveaux de confiance en utilisant les valeurs globales
for (i in seq_along(q_values)) {
  confidence_level <- paste0("Confidence_", q_values[i] * 100)
  risk_adjustment_rates_global <- sapply(global_df$Volatility_Global, function(volatility) {
    abs(exp(qnorm(q_values[i]) * sqrt(log(volatility + 1))) / sqrt(volatility + 1) - 1)
  })
  global_df[[paste0("Taux_RA_Global_", confidence_level)]] <- risk_adjustment_rates_global
}

# Ajouter une dernière feuille Excel dans le classeur wb
addworksheet(wb, "Global_Summary")

# Écrire le tableau global_df dans la dernière feuille
writeData(wb, "Global_Summary", global_df)

# Sauvegarder le classeur Excel
saveWorkbook(wb, "C:/Users/YasmPC/Desktop/Résultats_AM_AE.xlsx", overwrite = TRUE)
```

# Annexe C : Courbe des taux

Days per month 30

| NBJ  | Date de valeur | Echéance   | Taux moyen pondéré | Years | Months | Durée J | x1   | y1   | x2      | y2   | Taux interpolés | Y  | Rate   | Taux Z-C | Calculs intermédiaires |      |
|------|----------------|------------|--------------------|-------|--------|---------|------|------|---------|------|-----------------|----|--------|----------|------------------------|------|
| 52   | 29/12/2023     | 19/02/2024 | 2,92               | 1     | 0      | 1Y0M    | 360  | 199  | 0,03000 | 598  | 0,03000         | 1  | 3,000% | 3,000%   | 0,97                   | 0,97 |
| 143  | 29/12/2023     | 20/05/2024 | 2,98               | 2     | 0      | 2Y0M    | 720  | 598  | 0,03230 | 1235 | 0,0341          | 2  | 3,264% | 3,269%   | 0,97                   | 0,94 |
| 199  | 29/12/2023     | 15/07/2024 | 3,00               | 3     | 0      | 3Y0M    | 1080 | 598  | 0,03230 | 1235 | 0,0341          | 3  | 3,366% | 3,373%   | 1,91                   | 0,91 |
| 598  | 29/12/2023     | 18/08/2025 | 3,23               | 4     | 0      | 4Y0M    | 1440 | 1235 | 0,03410 | 2362 | 0,0365          | 4  | 3,454% | 3,463%   | 2,81                   | 0,87 |
| 1235 | 29/12/2023     | 17/05/2027 | 3,41               | 5     | 0      | 5Y0M    | 1800 | 1235 | 0,03410 | 2362 | 0,0365          | 5  | 3,530% | 3,544%   | 3,69                   | 0,84 |
| 2362 | 29/12/2023     | 17/06/2030 | 3,65               | 6     | 0      | 6Y0M    | 2160 | 1235 | 0,03410 | 2362 | 0,0365          | 6  | 3,607% | 3,626%   | 4,53                   | 0,81 |
| 3916 | 29/12/2023     | 18/09/2034 | 3,91               | 7     | 0      | 7Y0M    | 2520 | 2362 | 0,03650 | 3916 | 0,0391          | 7  | 3,676% | 3,701%   | 5,33                   | 0,78 |
| 5316 | 29/12/2023     | 19/07/2038 | 4,17               | 8     | 0      | 8Y0M    | 2880 | 2362 | 0,03650 | 3916 | 0,0391          | 8  | 3,737% | 3,767%   | 6,11                   | 0,74 |
| 5953 | 29/12/2023     | 16/04/2040 | 4,35               | 9     | 0      | 9Y0M    | 3240 | 2362 | 0,03650 | 3916 | 0,0391          | 9  | 3,797% | 3,835%   | 6,85                   | 0,71 |
| 9915 | 29/12/2023     | 20/02/2051 | 4,99               | 10    | 0      | 10Y0M   | 3600 | 2362 | 0,03650 | 3916 | 0,0391          | 10 | 3,857% | 3,904%   | 7,57                   | 0,68 |
|      |                |            |                    | 11    | 0      | 11Y0M   | 3960 | 3916 | 0,03910 | 5316 | 0,0417          | 11 | 3,918% | 3,975%   | 8,25                   | 0,65 |
|      |                |            |                    | 12    | 0      | 12Y0M   | 4320 | 3916 | 0,03910 | 5316 | 0,0417          | 12 | 3,985% | 4,055%   | 8,90                   | 0,62 |
|      |                |            |                    | 13    | 0      | 13Y0M   | 4680 | 3916 | 0,03910 | 5316 | 0,0417          | 13 | 4,052% | 4,138%   | 9,52                   | 0,59 |
|      |                |            |                    | 14    | 0      | 14Y0M   | 5040 | 3916 | 0,03910 | 5316 | 0,0417          | 14 | 4,119% | 4,222%   | 10,11                  | 0,56 |
|      |                |            |                    | 15    | 0      | 15Y0M   | 5400 | 5316 | 0,04170 | 5953 | 0,0435          | 15 | 4,194% | 4,320%   | 10,67                  | 0,53 |
|      |                |            |                    | 16    | 0      | 16Y0M   | 5760 | 5316 | 0,04170 | 5953 | 0,0435          | 16 | 4,295% | 4,460%   | 11,20                  | 0,50 |
|      |                |            |                    | 17    | 0      | 17Y0M   | 6120 | 5953 | 0,04350 | 9915 | 0,0499          | 17 | 4,377% | 4,574%   | 11,70                  | 0,47 |
|      |                |            |                    | 18    | 0      | 18Y0M   | 6480 | 5953 | 0,04350 | 9915 | 0,0499          | 18 | 4,435% | 4,655%   | 12,17                  | 0,44 |
|      |                |            |                    | 19    | 0      | 19Y0M   | 6840 | 5953 | 0,04350 | 9915 | 0,0499          | 19 | 4,493% | 4,739%   | 12,61                  | 0,41 |
|      |                |            |                    | 20    | 0      | 20Y0M   | 7200 | 5953 | 0,04350 | 9915 | 0,0499          | 20 | 4,551% | 4,826%   | 13,02                  | 0,39 |
|      |                |            |                    | 21    | 0      | 21Y0M   | 7560 | 5953 | 0,04350 | 9915 | 0,0499          | 21 | 4,610% | 4,917%   | 13,41                  | 0,36 |
|      |                |            |                    | 22    | 0      | 22Y0M   | 7920 | 5953 | 0,04350 | 9915 | 0,0499          | 22 | 4,668% | 5,011%   | 13,78                  | 0,34 |
|      |                |            |                    | 23    | 0      | 23Y0M   | 8280 | 5953 | 0,04350 | 9915 | 0,0499          | 23 | 4,726% | 5,110%   | 14,12                  | 0,32 |
|      |                |            |                    | 24    | 0      | 24Y0M   | 8640 | 5953 | 0,04350 | 9915 | 0,0499          | 24 | 4,784% | 5,214%   | 14,44                  | 0,30 |
|      |                |            |                    | 25    | 0      | 25Y0M   | 9000 | 5953 | 0,04350 | 9915 | 0,0499          | 25 | 4,842% | 5,323%   | 14,73                  | 0,27 |
|      |                |            |                    | 26    | 0      | 26Y0M   | 9360 | 5953 | 0,04350 | 9915 | 0,0499          | 26 | 4,900% | 5,436%   | 15,00                  | 0,25 |