duas
Diplôme Universitaire des Actuaires de Strasbourg

UFR Mathématique Informatique Strasbourg

Mémoire présenté devant

l'UFR de Mathématique et Informatique

pour l'obtention du du Diplôme Universitaire d'Actuaire de Strasbourg

et l'admission à l'Institut des Actuaires

le 08/12/2021

Par : Férièle BOUZIANE

Titre: Étude et optimisation du nouveau programme de réassurance sur le périmètre de la Prévoyance Individuelle

Confidentialité : ■ NON ☐ OUI Durée : ☐ 1 an ☐ 2 ans ☐ 3 ans ☐ 4 ans ☐ 5 ans

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

Signature :

Membres du jury de l'Unistra :

P. ARTZNER
J. BERARD
A. COUSIN
K.-T. EISELE
M. MAUMY-BERTRAND

Entreprise : Natixis Assurances

Directeur de mémoire en entreprise:
Nom : Anna KRYSHTOPENKO
Signature :
Invité :

Nom : Laura PEREZ
Signature :

Jury de l'Institut des Actuaires :

C. FONTAINE
J. ELMALEH

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

Signature du responsable entreprise

Signature du candidat

Secrétariat : Mme Stéphanie Richard

Bibliothèque : Mme Christine Disdier

DUAS - Université de Strasbourg

Mémoire d'Actuariat
Année 2020 - 2021

Etude et optimisation du nouveau programme de réassurance en Prévoyance Individuelle

Férièle BOUZIANE

Tuteur de mémoire entreprise : Anna KRYSHTOPENKO
Tuteur de mémoire académique : Jean MODRY

Avant-Propos

Pour des raisons de confidentialité, les résultats chiffrés ont tous été modifiés sans perte de généralité.

L'ensemble des calculs dans ce mémoire a été implémenté à l'aide des langages R et VBA.

Remerciements

Je tiens à remercier en tout premier lieu ma tutrice en entreprise, Anna KRYSHTOPENKO, sans qui ce mémoire n'aurait pas pu être réalisé. Je la remercie très sincèrement pour sa confiance, sa disponibilité, ses relectures, et ses nombreux conseils. Anna KRYSHTOPENKO a su m'apporter un soutien tant personnel que professionnel tout au long de mon alternance.

Un grand merci à toute l'équipe de Prévoyance Individuelle de Natixis Assurances, composée de Nathalie BIENAIME - manager de l'équipe, Patrick GOMIS - référant de l'équipe, Clotilde ROUBY, Amandine ROMAND-PIQUANT, Cédric PECHEREAU, Nicolas GEORGES et Charles CLIET. Ils m'ont apporté toute l'aide et la bienveillance dont j'avais besoin et m'ont réservé un très bel accueil au sein de l'entreprise.

Je souhaite remercier le DUAS et tout particulièrement Jean MODRY pour la qualité de ses enseignements en tant que professeur, ainsi que la qualité de ses conseils en tant que tuteur académique.

Je remercie Ludovic BOULANGER, du service réassurance, et l'ancien alternant de ce service, Alain CORDANI, pour leurs apports en réassurance, leur disponibilité et leur gentillesse.

Je remercie également Laura PEREZ, Jim LOTHAMMER et Adrien HELARY, de la fonction actuarielle, pour m'avoir apporté de précieux conseils et pour les bons moments partagés.

Enfin, merci à Audrey FABIEN, alternante en prévoyance individuelle, et à Marie LE PENNEC, stagiaire en prévoyance individuelle, pour l'entraide mutuelle et nos charmantes discussions.

Resume

Mots clés : Réassurance, Prévoyance Individuelle, modélisation, simulations, Monte Carlo, GLM, Optimisation, Solvabilité II

Dans le cadre de la mise en place d'un nouveau programme de réassurance en 2021, notamment sur le périmètre de la Prévoyance Individuelle du bancassureur BPCE, il a été décidé de mener des études d'efficacité du nouveau plan de réassurance, a priori et a posteriori, afin d'en juger l'adéquation au profil de risque de l'entreprise.

L'étude a posteriori consistait en l'application de la structure de réassurance 2021 aux données comptables de sinistres passés, permettant ainsi le calcul et l'analyse d'indicateurs d'efficacité a posteriori. L'intérêt de cette étude réside principalement dans le caractère certain des données d'expérience de l'entreprise.

Pour mener l'étude a priori, les charges de sinistres ont été simulées par périmètre, c'est à dire par réseau bancaire et par groupe de risque, sur le principe de Monte Carlo à un horizon d'un an.

En appliquant la couverture de réassurance 2021, cette modélisation permet alors d'obtenir une distribution des indicateurs d'efficacité retenus, bruts et nets de réassurance, dont il est possible de vérifier la cohérence à l'aide des données historiques et de l'étude a posteriori.

L'analyse de ces indicateurs a pu apporter des informations clés quant à l'optimisation de ce plan pour l'année 2022.

Ce mémoire constitue donc une aide à la décision et apporte une vision critique sur les propositions d'évolutions fournies par les courtiers en réassurance.

Abstract

Key words : reinsurance, Individual Protection, modeling, simulations, Monte Carlo, GLM, optimization, Solvency II

As part of the implementation of a new reinsurance program in 2021, in particular within the scope of the Individual Protection of the BPCE bancassurer, it was decided to carry out an a priori and a posteriori effectiveness study of the new reinsurance plan, in order to judge its adequacy to the risk profile of the company.

The a posteriori study consisted of the application of the 2021 reinsurance structure to the accounting data of past claims, allowing the calculation and analysis of a posteriori efficiency indicators. The interest of this study lies mainly in the fixed nature of the company's experience data.

To carry out the a priori study, claims charges were simulated by different risk and banking network perimeter on the Monte Carlo principle over a one-year horizon.

By applying the 2021 reinsurance coverage, this modeling makes it possible to obtain a distribution of the efficiency indicators, gross and net of reinsurance, the consistency of which can be checked using historical data and the a posteriori study.

The analysis of these indicators provided key information regarding the optimization of this plan for the year 2022.

Therefore this thesis constitutes a decision-making aid and provides a critical view of the proposals provided by reinsurance brokers.

Acronymes

- ACPR : Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution
- ADE : Assurances Des Emprunteurs
- AT : Arrêt de Travail
- BCAC : Bureau Commun des Assurances Collectives
- BE : Best Estimate
- BP : Banques Populaires
- BPCE : Banques Populaires et Caisses d'Epargne
- BSCR : Basic Solvency Capital Requirement
- CART : Classification And Regression Tree
- CE : Caisses d'Epargne
- CSR : Capitaux sous risque
- CRT : Compte de Résultat Technique
- DCAC : Décès Accidentel
- DCAT : Décès Toutes Causes, Décès Accidentel, Arrêt de Travail (DCTC, DCAC, AT)
- DCTC : Décès Toutes Causes
- DEP : Dépendance
- GLM : Generalized Linear Model
- IPP : Invalidité Permanente Partielle
- IPT : Invalidité Permanente Totale
- ITT : Incapacité Temporaire Totale
- LoB : Line of Business
- LGD : Loss Given Default
- MALG : Maladie Grave
- MAV : Multirisques Accidents de la Vie
- ORSA : Own Risk and Solvency Assessment
- PI : Prévoyance Individuelle
- PM : Provisions Mathématiques
- PTIA : Perte totale et irréversible d'autonomie
- QDD : Qualification Des Données
- QP : Quote-Part
- SCR : Solvency Capital Requirement
- TNS : Travailleurs Non Salariés
- XP : Excédent de plein
- XS : Excédent de Sinistre

Définitions

Description générale des risques assurés par Natixis Assurances en prévoyance individuelle :

- Décès toutes causes (DCTC) : consiste à assurer le versement d'un capital ou d'une rente aux bénéficiaires en cas de décès de l'assuré. Cette garantie entre en jeu pour n'importe quelle cause de décès.

- Décès accidentel (DCAC) : le versement d'un capital ou d'une rente aux bénéficiaires n'est effectué que lorsque le décès de l'assuré est de nature accidentelle. Cette définition peut varier selon les contrats.

- Perte totale et irréversible d'autonomie (PTIA) : concerne toute invalidité, constatée par un médecin, physique ou mentale de l'assuré causant une incapacité totale et définitive d'exercer son activité professionnelle ou toute autre activité rémunératrice. L'assuré est dans l'obligation de recourir à l'assistance d'une tierce personne pour accomplir les actes quotidiens de la vie (se nourrir, se laver, s'habiller, se déplacer). Cette garantie est assimilée à un décès de par ses caractéristiques.

- Incapacité temporaire totale (ITT) : elle est avérée lorsque l'assuré est dans l'impossibilité médicale totale d'exercer une activité professionnelle rémunératrice suite à un arrêt de travail pour une maladie ou un accident pendant un certain temps. La durée de cette indemnisation est généralement limitée à 3 ans (36 mois), et une durée de franchise est généralement appliquée.

- Invalidité permanente partielle (IPP) : représente une invalidité de l'assuré impliquant une impossibilité d'exercer une activité professionnelle de manière partielle ou totale. Le taux d'incapacité, évalué par un expert, est compris entre 33% et 66%.

- Invalidité permanente totale (IPT) : représente une invalidité de l'assuré impliquant une impossibilité d'exercer une activité professionnelle de manière partielle ou totale. Le taux d'incapacité, observé par un médecin, est supérieur à 66%.

- Dépendance : peut être définie comme un état dans lequel se trouvent des personnes qui, pour des raisons liées au manque ou à la perte d'autonomie physique, psychique ou intellectuelle, ont besoin d'une assistance et/ou d'aides importantes afin d'accomplir des actes courants de la vie.

- Multirisque des Accidents de la Vie (MAV) : aide à faire face aux conséquences financières d'un accident de la vie quotidienne et permet de bénéficier de garanties d'assistance dans les situations difficiles. Les accidents couverts peuvent par exemple être une chute, une brûlure ou un accident de la vie privée.

La PTIA étant assimilable au décès de par ses caractéristiques, ces deux risques seront traités ensemble, sans distinction, dans cette étude.

Aussi, il ne sera pas fait de différences entre l'IPP et l'IPT, qui seront considérés comme un risque unique d'invalidité. L'ITT correspondra au risque d'incapacité.

Pour faire référence aux risques d'incapacité et d'invalidité, il arrivera de parler de risque arrêt de travail (AT).

Note de Synthèse

Contexte

La réassurance est une opération par laquelle un assureur fait garantir par un réassureur tout ou partie des risques qu'il a lui-même couverts. Elle est souvent mise en oeuvre pour les raisons suivantes :

- Protection contre une sinistralité rare et intense
- Support pour entrer sur un nouveau marché
- Protection contre les évènements entraînant une multitudes de sinistres
- Réduction de l'exigence réglementaire en capital

Sur les conseils de ses courtiers en réassurance, Natixis Assurances a mis en place un nouveau programme de réassurance qui a pris effet le 1er janvier 2021.

Le programme de réassurance 2021 est schématisé ci-dessous, avec les paramètres des différentes couvertures :

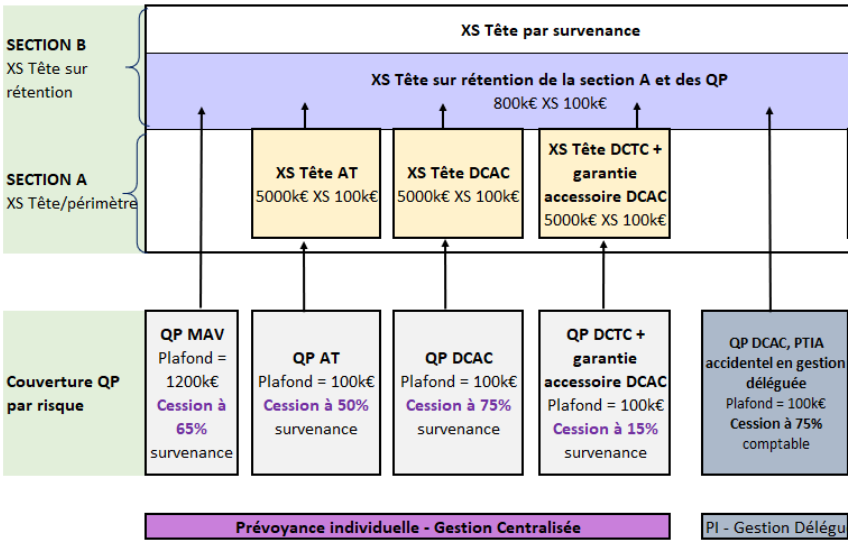

FIGURE 1 – Plan de réassurance 2021

Les évolutions structurelles sont importantes et nécessitent une étude approfondie sur l'efficacité de cette nouvelle structure. Ce mémoire a donc pour objectif de déterminer si le nouveau traité de réassurance est adapté au portefeuille de la Prévoyance Individuelle.

Pour ce faire deux études ont été menées :

— une étude a posteriori à partir de la sinistralité passée, afin d'analyser des indicateurs d'efficacité dont le caractère est certain

— et une étude a priori sur un horizon d'un an, pour étudier une distribution d'indicateurs d'efficacité obtenue par simulations de Monte Carlo.

De plus, les courtiers en réassurance ont proposé de restructurer l'XS Tête en passant à un fonctionnement totalement sur rétention en 2022. C'est-à-dire qu'il est envisagé de supprimer la section A du plan ci-dessus, pour ne garder plus que la section B, au cumul des rétentions post QP de tous les périmètres de risque. L'impact de ce changement sera évalué à travers des indicateurs d'efficacité à priori et à travers les commissions reversées aux banques BP et CE.

Etude du plan de réassurance a posteriori

Dans un premier temps, en utilisant les bases de sinistres comptables à la maille client, il est possible d'appliquer directement la nouvelle structure de réassurance par groupe de risque et type de couverture. Ceci permet le calcul d'indicateurs comptables brut et net de réassurance, afin d'évaluer chaque type de couverture risque par risque.

Ensuite une application du plan de réassurance complet sur tous les périmètres de risques, permet de calculer plusieurs indicateurs comptables globaux. Ces indicateurs permettront d'évaluer le plan de réassurance complet a posteriori.

Application du plan de réassurance 2021 aux données :

1ère étape : Application des QP plafonnées, par groupe de risque

En notant S le montant d'un sinistre, $Cession_{QP}$ la charge cédée en QP, $Retention_{QP}$ la charge conservée post QP et $Prime_{QP}$ la prime cédée en QP :

- Périmètre DCTC et garantie accessoire accident : $Cession_{QP} = 15\% * min(S, 100000)$ et $Retention_{QP} = S - Cession_{QP}$
- Périmètre DCAC seul : $Cession_{QP} = 75\% * min(S, 100000)$ et $Retention_{QP} = S - Cession_{QP}$
- Périmètre AT seul : $Cession_{QP} = 50\% * min(S, 100000)$ et $Retention_{QP} = S - Cession_{QP}$
- Périmètre MAV seul : $Cession_{QP} = 65\% * min(S, 1200000)$ et $Retention_{QP} = S - Cession_{QP}$

- Périmètre DCTC et garantie accessoire accident : $Prime_{QP} = 15\% * Assiette\ de\ prime\ DCTC$
- Périmètre DCAC seul : $Prime_{QP} = 75\% * Assiette\ de\ prime\ DCAC$
- Périmètre AT seul : $Prime_{QP} = 50\% * Assiette\ de\ prime\ AT$
- Périmètre MAV seul : $Prime_{QP} = 65\% * Assiette\ de\ prime\ MAV$

2ème étape : Application des XS Tête par périmètre de risque - section A (DCAT uniquement)

Il suffit de d'appliquer la formule de cession XS Tête aux montants des sinistres S cumulés par tête, risque et année de survenance.

En notant $Cession_{XS}$ la charge cédée à la réassurance pour la section A, $Retention_{XS}$ la charge conservée par l'assureur après la section A et $Prime_{XS}$ la prime payée en section A :

$$Cession_{XS} = min(Portee, max(S - Priorite, 0))$$

$$Cession_{XS} = min(5000000, max(S - 100000, 0))$$

$$Retention_{XS} = S - Cession_{XS}$$

$$\text{et } Prime_{XS} = 2.5\% * Assiette\ de\ prime\ DCTC,\ DCAC\ et\ AT$$

Après application des QP sur les charges de sinistres par risque, et après le calcul du reste à charge assureur post application de l'XS Tête par périmètre, une analyse de l'XS Tête sur rétention (section B) peut être faite.

3ème étape : Application de l'XS Tête sur rétention au cumul de tous les risques - section B (DCAT et MAV)

Il suffit d'appliquer la formule de cession XS Tête aux rétentions obtenues post section A et post QP cumulées par tête et année de survenance.

En notant $Retention_{QP/XS}$ le reste à charge de l'assureur après les cessions QP et XS tête,

$$Retention_{QP/XS} = S - Cession_{QP} - Cession_{XS}$$

Puis, en notant $Cession_B$ la charge cédée à la réassurance pour la section B, $Retention_B$ la charge conservée par l'assureur après la section B et $Prime_B$ la prime payée en section B :

$$Cession_B = min(Portee, max(Retention_{QP/XS} - Priorite, 0))$$
$$Cession_B = min(800000, max(Retention_{XS} - 100000, 0))$$
$$Retention_B = Retention_{QP/XS} - Cession_B$$
$$\text{et } Prime_{XSA} = 0.20\% * \textit{Assiette de prime DCTC, DCAC, AT et MAV}$$

Dans cette étude il est ressorti que les primes cédées à la réassurance auraient été très élevées et que Natixis aurait été systématiquement déficitaire en cédant plus de primes que charges à la réassurance. Toutefois, les commissions de réassurance sur les couvertures proportionnelles et la participation au bénéfice n'ont pas été prises en compte donc il est normal que le budget de réassurance soit très "gonflé".

Par ailleurs, le programme de réassurance 2021 aurait offert d'autres avantages comme :

- une diminution du S/P global (en moyenne -2.67%)
- une très légère hausse de la rentabilité pour la cédante (en moyenne 1%)
- et une forte stabilisation du résultat par une forte baisse de sa volatilité (d'environ 29%)

Etude du plan de réassurance a priori

Dans cette partie la base d'exposition, dont les données ont été préalablement qualifiées, est utilisée en gardant les assurés présents au 31/12/2020.

Des statistiques de sinistres graves sont calculées a priori pour chaque groupe de risque, en rapportant le coût espéré des sinistres graves à horizon 1 an au coût de la réassurance. L'idée est de s'intéresser à une sous-population portant les capitaux sous risques les plus élevés et susceptible de déclencher le seuil de l'XS Tête. Pour cette sous-population, le coût des sinistres espérés à horizon 1 an est calculé, ainsi que le coût de la réassurance. Le ratio de ces deux coûts permet d'obtenir un indicateur d'efficacité de réassurance à maximiser, car s'il est supérieur à 100% Natixis Assurances peut espérer céder plus de charges que de primes au réassureur.

— Pour la sous-population ayant les plus gros capitaux sous risque DCTC, la cédante peut espérer céder entre 2,5 fois et 3 fois plus de charges que de primes.
— Cependant, pour le DCAC le ratio S/P éspéré des sinistres graves est de 19.82%, a priori la cédante risque de céder bien moins de charges que de primes au réassureur. Ceci n'est pas surprenant puisqu'une grande partie des primes est cédée en raison du taux de QP très élevé (75%).
— Pour l'AT, l'assureur peut espérer céder à peu près autant de primes que de charges en réassurance avec un S/P espéré à horizon 1 an proche de 100%.

Pour la suite de l'étude la démarche suivante est établie :

<u>Simulations de Monte Carlo :</u>

Les charges de sinistres sont simulées à horizon un an sur le principe de Monte Carlo pour chaque groupe de risque. La loi de probabilité utlisée pour tirer au sort les sinistres est une loi Binomiale de paramètre n = le nombre de têtes valides au 31/12/2020 couvertes contre le risque en question, et p = la loi biométrique certifiée sur le portefeuille BPCE pour le risque en question. Cela permet de modéliser la fréquence des sinistres aléatoirement.

Ensuite il faut modéliser le coût des sinistres :

Pour les produits forfaitaires, correspondant aux risques DCTC, DCAC et AT, le montant de sinistre correspond au montant garanti prévu au contrat. Comme ce montant est renseigné dans la base il n'y pas besoin de modélisation.

En revanche, pour le produit indemnitaire MAV, la variable indiquant le montant garanti dans la base de données, renseigne, en réalité, le plafond d'indemnisation, qui n'est dans les faits presque jamais atteint.

Il faut donc modéliser le coût des sinistres afin de recalculer des montants garantis en cas de sinistres MAV. Cette problématique de prédiction des montants de sinistres tête par tête MAV est une problématique de régression.

Pour ce faire, en disposant des données comptables sur les sinistres passés, il est possible d'utiliser une méthode de régression pour apprendre de la sinistralité d'expérience et prédire ensuite les montants garantis tête par tête sur la base portefeuille des personnes valides.

Plusieurs méthodes de régression ont été mises en place :

- Régression linéaire multiple
- GLM
- CART
- *Random forest*
- XGBoost

Malheureusement, aucune de ces méthodes ne présente une qualité de prédiction convenable et cela est dû à deux raisons principales. La première est qu'il n'y pas suffisamment d'observations dans l'expérience de sinistres MAV. Effectivement, avec tous les modèles il y a eu un problème de sous-apprentissage des données. La deuxième raison est qu'il manque des variables importantes dans les données de Natixis, comme le salaire de l'assuré, le nombre d'enfants de l'assuré etc... tant de variables qui permettraient de mieux prédire le préjudice économique et moral en cas de sinistre.

Malgré tout, il est impensable d'utiliser des plafonds d'indemnisation pour simuler les charges de sinistres MAV, donc une des méthodes de régression a été retenue pour prédire des montants de sinistres un peu plus réalistes. Selon les métriques retenues, la méthode GLM est celle qui présentait les meilleures caractéristiques parmi les cinq méthodes implémentées. Le GLM a alors été utilisé pour prédire les coût des sinistres MAV.

Application des couvertures de réassurance :

De la même manière que dans l'étude a posteriori, il est désormais possible d'appliquer le plan de réassurance 2021 risque par risque, puis dans son entièreté en cumulant les restes à charges par tête de tous les risques DCTC, DCAC, AT et MAV, à partir des charges de sinistres simulées tête par tête.

Modélisation de l'assiette de prime 2021 :

L'assiette de prime 2021 a également été modélisée par simulations de Monte Carlo. Au préalable, trois hypothèses ont été formulées :

— Pas de résiliations
— Pas d'affaires nouvelles
— Survenance des décès en milieu d'année

Pour obtenir une simulation d'assiette de prime 2021, l'algorithme va tirer au sort les sorties du portefeuille et diviser par deux leur montant de prime annuelle puis sommer toutes les primes annuelles HT. L'assiette de prime annuelle 2021 sera égale la moyenne de toutes les simulations et il devient possible de calculer la prime totale cédée en réassurance à partir de cette assiette simulée.

Evaluation de la structure de réassurance :

Des indicateurs comptables sont ensuite calculés, principalement à partir des primes cédées et des charges cédées en réassurance qui ont été calculées dans les deux étapes précédentes. Ceci va permettre d'évaluer l'efficacité du plan de réassurance sur le portefeuille Prévoyance a priori.

Résultats obtenus :

- Le solde moyen de réassurance a priori est nettement moins élevé qu'à posteriori. il s'élève à 7 392 241€ et représente un déficit pour la cédante qui, a priori, va céder plus de primes que de charges.
- La diminution moyenne du S/P global a priori est de 14.5%.
- La hausse moyenne de la rentabilité pour la cédante a priori est de 9.1%
- Une forte baisse de la volatilité du résultat de 46.8% témoigne d'une forte stabilisation du résultat grâce à la structure de réassurance 2021.

Globalement les indicateurs de réassurance comptables a priori sont bons et justifient le coût de la structure de réassurance actuelle. De plus, le solde de réassurance a été calculé sans prise en compte des commissions de réassurance proportionnelle et sans participation au bénéfice ce qui explique que le montant soit si élevé.

D'autres indicateurs ont été calculés sous Solvabilité 2 après avoir capitalisé sur un outil développé en interne : Le gain en SCR et le ratio S2.

La structure de réassurance actuelle permet de dégager un gain en SCR important pour la filiale BPCE Prévoyance en rapport avec la perte sur le résultat générée. Elle permet également d'améliorer le ratio S2 de cette filiale. Néanmoins, pour l'autre entité BPCE Vie, le ratio S2 est inchangé et le gain en SCR est plus petit que la perte sur le résultat générée. En regroupant les résultats des deux filiales BPCE Vie et BPCE Prévoyance, le gain en SCR demeure supérieur au coût de la réassurance et la ratio S2 est légèrement augmenté.

Impact de la proposition des courtiers en réassurance

A partir des simulations de sinistres à horizon un an, il suffit d'appliquer le plan de réassurance en gardant les paramètres des QP inchangés et en appliquant l'XS Tête sur rétention au cumul des risques directement sur les restes à charge assureur post QP. Plusieurs indicateurs comptables ont été calculés à des fins de comparaison avec la structure de réassurance actuelle.

Résultats obtenus :

- La suppression de la section A permet de réaliser une économie de 716 313€ sur le budget de réassurance.
- La diminution moyenne du S/P global a priori est de 12.7%. (contre 14.5% avec section A)
- La baisse de la volatilité du résultat est de 44.7%. (contre 46.8% avec section A)

La suppression de la section A permet effectivement de réaliser une économie sur le coût de réassurance, mais celle-ci reste très peu élevée. De plus, les indicateurs comptables calculés tendent en faveur du programme de réassurance actuel.

Par ailleurs, les commissions totales à reverser aux banques BP et CE ont été calculées avec et sans la section A et il s'avère que la réassurance actuelle augmenterait cette commission de 0.1% contre 0.4% pour le plan amputé de la section A. Si le but recherché est de maximiser la commission à reverser aux banques, la proposition des courtiers consistant à restructurer l'XS tête est légèrement plus avantageuse.

Conclusion

Ce mémoire a pu apporter une vision détaillée de l'efficacité du programme de réassurance 2021 sur le portefeuille de la Prévoyance Individuelle. Les indicateurs qui ont été calculés, a priori et a posteriori, rendent compte de l'adéquation de nouveau programme de réassurance au profil de risque de Natixis Assurances et ont permis une analyse de l'impact de la restructuration de l'XS Tête proposée par les courtiers pour 2022.

Le programme de réassurance actuel semble plus avantageux que le programme de réassurance amputé de la section A au regard des indicateurs du S/P et de la volatilité du résultat.

Toute l'étude, comprenant le code *R*, le *reporting Rmarkdown* et la note technique, a été mise à disposition du service de réassurance de Natixis Assurances, et sera utile lors des prochains renouvellements des programmes de réassurance.

Summary

Context

Reinsurance is an operation whereby an insurer has a reinsurer guaranteed all or part of the risks that he has covered himself. It is often implemented for the following reasons :

- Protection against a rare and intense loss experience
- Support to enter a new market
- Protection against events leading to a multitude of claims
- Reduction of the regulatory capital requirement

On the advice of its reinsurance brokers, Natixis Assurances has set up a new reinsurance program which took effect on January 1, 2021.

The 2021 reinsurance program is shown schematically below, with the parameters of the various coverages :

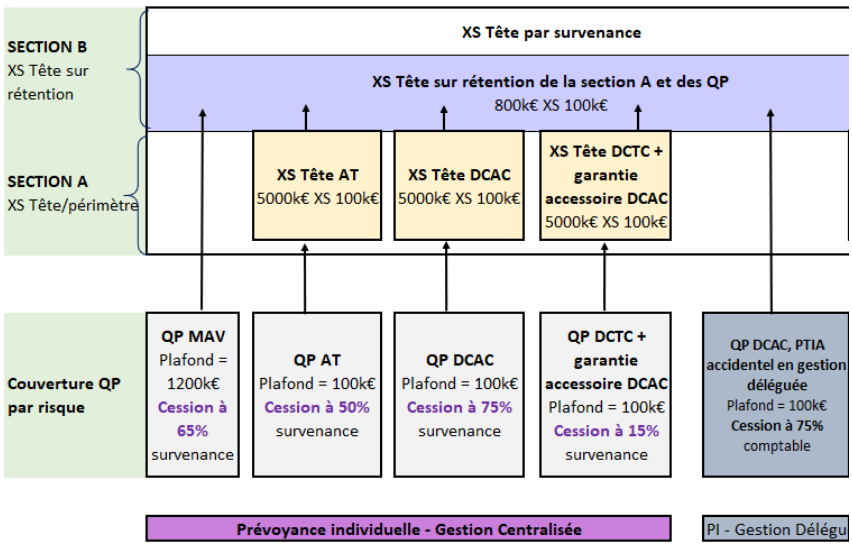

FIGURE 2 – Plan de réassurance 2021

Structural changes are important and require an in-depth study on efficiency of this new structure. Therefore the purpose of this thesis is to determine whether the new reinsurance is adapted to the Individual Protection portfolio.

To do this, two studies were carried out :

— an a posteriori study based on past claims, in order to analyze efficiency indicators which character is certain

— and an a priori study over a one-year horizon, to study a distribution of efficiency indicators obtained by Monte Carlo simulations

In addition, the reinsurance brokers proposed to restructure the XL per capita by moving to a totally on retention XL in 2022. That is to say, it is planned to delete the section A of the above plan, to keep only section B. The impact of this change will be assessed through a priori efficiency indicators and through commissions paid to BP and CE banks.

A posteriori reinsurance plan study

First, by using the accounting claims data bases, it is possible to directly apply the new reinsurance structure by risk group and type of cover. This allows the calculation of accounting indicators gross and net of reinsurance, in order to assess each type of cover risk by risk.

Then an application of the complete reinsurance plan on all the perimeters of risks, makes it possible to calculate several global accounting indicators. These indicators will make it possible to evaluate the complete reinsurance plan a posteriori.

Application of the 2021 reinsurance plan to data :

1st step : Application of capped Quota Share, by risk group

By noting S the amount of a claim, $Cession_{QP}$ the load ceded in Quota Share, $Retention_{QP}$ the load retained after Quota Share and $Prime_{QP}$ the premium ceded in Quota Share :

- DCTC scope and accident accessory coverage : $Cession_{QP} = 15\% * min(S, 100000)$ and $Retention_{QP} = S - Cession_{QP}$
- DCAC scope : $Cession_{QP} = 75\% * min(S, 100000)$ and $Retention_{QP} = S - Cession_{QP}$
- AT scope : $Cession_{QP} = 50\% * min(S, 100000)$ and $Retention_{QP} = S - Cession_{QP}$
- MAV scope : $Cession_{QP} = 65\% * min(S, 1200000)$ and $Retention_{QP} = S - Cession_{QP}$

- DCTC scope and accident accessory coverage : $Prime_{QP} = 15\% * Assiette\ de\ prime\ DCTC$
- DCAC scope : $Prime_{QP} = 75\% * DCAC\ Premium$
- AT scope : $Prime_{QP} = 50\% * AT\ Premium$
- MAV scope : $Prime_{QP} = 65\% * MAV\ Premium$

2nd step : Application of XL per capita by risk perimeter - section A (DCAT only)

All you have to do is applying the XL per capita cession formula to the cumulative S claims amounts per head, risk and year of occurrence.

Noting $Cession_{XS}$ the charge ceded to reinsurance for section A, $Retention_{XS}$ the charge retained by the insurer after section A and $Prime_{XS}$ the premium paid in section A :

$$Cession_{XS} = min(Limit, max(S - Priority, 0))$$

$$Cession_{XS} = min(5000000, max(S - 100000, 0))$$

$$Retention_{XS} = S - Cession_{XS}$$

$$\text{et } Prime_{XS} = 2.5\% * DCTC,\ DCAC\ and\ AT\ Premium$$

After application of the Quota Share on claims charges by risk, and after the calculation of the remainder payable by the insurer after application of the XL per capita by perimeter, an analysis of the XS per capita on retention (section B) can be made.

3rd step : Application of the XL per capita on retention to the aggregate of all risks - section B (DCAT and MAV)

All you have to do is apply the XL per capita cession formula to the retention obtained post section A and post QP cumulated by head and year of occurrence.

By noting $Retention_{QP/XS}$ the charge retained by the insurer after the Quota Share and XL per capita cessions,

$$Retention_{QP/XS} = S - Cession_{QP} - Cession_{XS}$$

Then, by noting $Cession_B$ the charge ceded to reinsurance for section B, $Retention_B$ the charge retained by the insurer after section B and $Prime_B$ the premium paid in section B :

$$Cession_B = min(Portee, max(Retention_{QP/XS} - Priorite, 0))$$
$$Cession_B = min(800000, max(Retention_{XS} - 100000, 0))$$
$$Retention_B = Retention_{QP/XS} - Cession_B$$
$$\text{et } Prime_{XSA} = 0.20\% * \textit{Assiette de prime DCTC, DCAC, AT et MAV}$$

In this study, it emerged that the premiums ceded to reinsurance would have been very high and that Natixis would have been systematically in deficit by ceding more premiums than charges to reinsurance. However, reinsurance commissions on proportional cover and profit sharing have not been taken into account so it is normal for the reinsurance budget to be very "inflated".

In addition, the 2021 reinsurance program would have offered other advantages such as :

- a decrease in overall Loss Ratio (on average -2.67 %)
- a very slight increase in profitability for the ceding company (on average 1 %)
- and a strong stabilization of the result by a sharp drop in its volatility (around 29 %)

A priori reinsurance plan study

In this part, the exposure database, the data of which has been qualified beforehand, is used while keeping the policyholders present on 12/31/2020.

Serious claims statistics are calculated a priori for each risk group, by relating the expected cost of serious claims within 1 year to the cost of reinsurance. The idea is to focus on a sub-population carrying the highest risk capital and likely to trigger the threshold of the XL per capita. For this sub-population, the cost of claims expected within 1 year is calculated, as well as the cost of reinsurance. The ratio of these two costs makes it possible to obtain an indicator of reinsurance efficiency to be maximized, because if it is greater than 100% Natixis Assurances can hope to cede more costs than premiums to the reinsurer.

— For the subpopulation with the largest DCTC capital at risk, the ceding company can expect to cede between 2.5 times and 3 times more charges than premiums.
— However, for DCAC the expected Loss Ratio of serious claims is 19.82%, a priori the ceding company risks ceding much less costs than premiums to the reinsurer. This is not surprising since a large part of the premiums are ceded due to the very high Qouta Share rate (75%).
— For AT, the insurer can hope to cede roughly as many premiums as reinsurance charges with an expected Loss Ratio within 1 year close to 100%.

For the rest of the study, the following approach is established :

<u>Monte Carlo simulations :</u>

Claims charges are simulated over a one-year horizon on the Monte Carlo principle for each risk group. The probability law used to draw the claims by lot is a Binomial law with parameter n = the number of valid heads on 12/31/2020 covered against the risk in question, and p = the certified biometric law on the BPCE portfolio for the risk in question. This allows the frequency of claims to be modeled at random.

Then you have to model the cost of claims :

For lump sum products, corresponding to DCTC, DCAC and AT risks, the amount of the claim corresponds to the guaranteed amount provided in the contract. As this amount is indicated in the base there is no need for modeling.

On the other hand, for the MAV indemnity product, the variable indicating the guaranteed amount in the database, actually informs the indemnity ceiling, which is in fact almost never reached.

It is therefore necessary to model the cost of claims in order to recalculate the amounts guaranteed in the event of MAV claims. This problem of predicting the amounts of losses head per head is a problem of regression.

To do this, by having accounting data on past claims, it is possible to use a regression method to learn from experience claims and then predict the guaranteed amounts head by head on the portfolio of able-bodied persons.

Several regression methods have been implemented :

- Multiple linear regression
- GLM
- CART
- *Random forest*
- XGBoost

Unfortunately, none of these methods present a suitable prediction quality and this is due to two main reasons. The first is that there are not enough observations in the MAV claims experience. Indeed, with all models there was a problem with data under-learning. The second reason is that important variables are missing in Natixis data, such as the insured's salary, the number of children of the insured, etc. so many variables that would better predict the economic and moral damage in the event of a disaster.

Despite everything, it is unthinkable to use indemnity ceilings to simulate the MAV claims charges, so one of the regression methods was used to predict a little more realistic claim amounts. According to the metrics used, the GLM method is the one that presented the best characteristics among the five methods implemented. The GLM was then used to predict the cost of MAV claims.

Application of the reinsurance cover :

In the same way as in the a posteriori study, it is now possible to apply the 2021 reinsurance plan risk by risk, then in its entirety by cumulating the rest at charge per capita for all DCTC, DCAC, AT and MAV risks, from the simulated claims charges on a per capita basis.

Modeling of the 2021 premium :

The 2021 premium was also modeled by Monte Carlo simulations. Beforehand, three hypotheses were formulated :

— No cancellations
— No new business
— Occurrence of deaths in the middle of the year

To obtain a 2021 premium simulation, the algorithm will randomly draw the insured portfolio exits and divide their annual premium amount by two, then add all the annual premiums excluding tax. The 2021 annual premium will be equal to the average of all the simulations and it becomes possible to calculate the total premium ceded in reinsurance from this simulated base.

Assessment of the reinsurance structure :

Accounting indicators are then calculated, mainly from ceded premiums and ceded reinsurance charges which were calculated in the two previous steps. This will make it possible to assess the effectiveness of the reinsurance plan on the Individual Protection portfolio a priori.

Results obtained :

- The average reinsurance balance a priori is much lower than a posteriori, it amounts to 7,392,241€ and represents a deficit for the ceding company which, a priori, will transfer more premiums than charges.
- The a priori average decrease in overall Loss Ratio is 14.5%.
- The a priori average increase in profitability for the ceding company is 9.1%
- A sharp drop in technical result's volatility of 46.8% testifies a strong stabilization of the technical result thanks to the 2021 reinsurance structure.

Overall, the a priori accounting reinsurance indicators are good and justify the cost of the current reinsurance structure. In addition, the reinsurance balance was calculated without taking into account the proportional reinsurance commissions and without profit sharing, which explains why the amount is so high.

Other indicators were calculated under Solvency 2 after having capitalized on a tool developed internally : The gain in SCR and the S2 ratio.

The current reinsurance structure makes it possible to generate a significant gain in SCR for the BPCE Prévoyance subsidiary in relation to the loss on the result generated. It also improves the S2 ratio of this subsidiary. However, for the other BPCE Vie entity, the S2 ratio is unchanged and the gain in SCR is smaller than the loss on the result generated. By combining the results of the two subsidiaries BPCE Vie and BPCE Prévoyance, the gain in SCR remains higher than the cost of reinsurance and the S2 ratio is slightly increased.

Impact of the proposal of reinsurance brokers

From the one-year claims simulations, All you have to do is applying the reinsurance plan keeping the Quota Share parameters unchanged and applying the XL per capita on retention to the cumulative risks directly to the remaining charges post Quota Share. Several accounting metrics have been calculated for comparison with the current reinsurance structure.

Results obtained :

- Removing section A saves 716 313€ on the reinsurance budget.
- The average decrease in overall Loss Ratio a priori is 12.7%. (vs 14.5% with section A)
- The decrease in the volatility of the result is 44.7%. (vs 46.8% with section A)

The suppression of section A effectively makes it possible to save on the cost of reinsurance, but this remains very low. In addition, the calculated accounting indicators tend in favor of the current reinsurance program.

In addition, the total commissions to be paid back to BP and CE banks were calculated with and without section A and it turns out that the current reinsurance would increase this commission by 0.1% against 0.4% for the plan without section A. If the desired goal is to maximize the commission to be paid back to the banks, the brokers' proposal is slightly more advantageous.

Conclusion

This thesis provided a detailed vision of the effectiveness of the 2021 reinsurance program on the Individual Provident portfolio. The indicators calculated, a priori and a posteriori, reflect the suitability of the new reinsurance program to the risk profile of Natixis Assurances. A priori indicators also allowed an analysis of the impact of the XL per capita restructuring proposed by brokers for 2022.

The current reinsurance program seems more advantageous than the reinsurance program cut from section A regarding Loss Ratio indicators and the volatility of the technical result.

The entire study, including the code *R*, the *reporting Rmarkdown* and the technical note, has been made available to the reinsurance department of Natixis Assurances, and will be useful during the next renewals of reinsurance programs.

Table des matières

Introduction **1**

1 Chapitre 1 - Contexte **2**
1.1 Présentation de l'entreprise . . . 2
1.2 Direction Produits et service Prévoyance Individuelle . . . 3
1.3 Risques et produits Natixis Assurances . . . 4
1.3.1 Description détaillée des principaux produits . . . 5
1.4 Réassurance dans la prévoyance individuelle . . . 9
1.4.1 La réassurance proportionnelle . . . 9
1.4.2 La réassurance non proportionnelle . . . 11
1.4.3 L'ancien plan de réassurance . . . 12
1.4.4 Le nouveau plan de réassurance . . . 13
1.4.5 La problématique actuelle . . . 15

2 Chapitre 2 - Les données **16**
2.1 La base de données . . . 16
2.1.1 Le Data Warehouse en prévoyance individuelle (DWH PI) . . . 16
2.1.2 Construction du portefeuille PI . . . 16
2.1.3 La base portefeuille utilisée . . . 17
2.2 Qualification de la base de données . . . 18
2.2.1 Contrôles du nombre de contrats en cours et de têtes assurées . . . 18
2.2.2 Contrôles des prestations . . . 19
2.2.3 Contrôles des montants garantis . . . 21
2.2.4 Contrôles des montants de primes hors taxes . . . 21
2.2.5 Conclusion QDD . . . 22
2.3 Statistiques descriptives périmètre de risque DCAT . . . 23
2.4 Statistiques descriptives périmètre de risque MAV . . . 31
2.5 Statistiques descriptives périmètre de risque DCAT et MAV . . . 34

3 Chapitre 3 - Etude du plan de réassurance a posteriori **37**
3.1 Analyse des charges et impact des couvertures QP et XS Tête . . . 38
3.1.1 Périmètre DCTC et garantie accessoire DCAC . . . 38
3.1.2 Périmètre DCAC . . . 41
3.1.3 Périmètre AT . . . 44
3.1.4 Périmètre MAV . . . 45
3.2 Analyse des cumuls . . . 46
3.3 Efficacité du nouveau plan de réassurance sur la sinistralité passée . . . 49
3.3.1 Charge cédée à la réassurance . . . 49
3.3.2 Prime cédée à la réassurance . . . 49
3.3.3 Solde de réassurance . . . 50
3.3.4 S/P brut et net de réassurance . . . 51
3.3.5 Résultat brut et net de réassurance . . . 52
3.3.6 Marge technique brute, nette et cédée . . . 53

4 Chapitre 4 - Etude du plan de réassurance a priori **55**
4.1 Statistique sinistres graves a priori . . . 55
4.1.1 Analyse des statistiques obtenues par périmètre de risque . . . 56
4.2 Modélisation a priori de la charge de sinistres par Monte Carlo . . . 62
4.3 Modélisation du décès toutes causes . . . 63
4.4 Modélisation du décès accidentel . . . 68
4.5 Modélisation de l'arrêt de travail . . . 71
4.6 Modélisation des multirisques accidents de la vie . . . 73
4.6.1 Régression . . . 73
4.6.2 Prédiction des prestations futures avec un modèle GLM . . . 74
4.6.3 Prédiction des prestations futures à l'aide du machine learning . . . 75

4.6.4 La Root-Mean-Square Error . . . 79
4.6.5 Résultats obtenus et comparaison des méthodes . . . 80
4.6.6 Simulations de Monte Carlo . . . 81
4.7 Modélisation des cumuls . . . 84
4.8 Modélisation de l'assiette de prime 2021 . . . 87
4.9 Efficacité du nouveau plan de réassurance . . . 89
4.9.1 Solde de Réassurance . . . 89
4.9.2 S/P net vs brut de réassurance . . . 89
4.9.3 Marge technique cédée, brute vs nette . . . 90
4.9.4 Volatilité des sinistres conservés . . . 90
4.9.5 Volatilité du résultat technique . . . 90
4.9.6 Réassurance et Solvabilité 2 : . . . 91
4.9.7 Gain en SCR et ratio de solvabilité brut vs net . . . 95
4.10 Impact de la suppression de la section A . . . 98

5 Chapitre 5 - Effet de la réassurance sur la rémunération des banques 101
5.1 Impact sur les commissions reversées aux banques . . . 101
5.1.1 Calcul de la commission de réassurance . . . 101
5.1.2 Calcul de la commission sur résultat assureur . . . 102
5.1.3 Calcul de la commission sur résultat réassureur . . . 102
5.1.4 Résultats obtenus . . . 103
5.2 La réassurance et IFRS 17 . . . 104

6 Chapitre 6 - Démarche d'optimisation 107
6.1 Construction de la base de données fictives . . . 107
6.2 Modélisation des sinistres . . . 108
6.3 Problème d'optimisation . . . 109
6.3.1 Approche moyenne-variance . . . 109
6.3.2 Autres métriques de mesure de risques . . . 109
6.4 Les structures de réassurance considérées . . . 109

Conclusion 113

Table des figures 116

Liste des tableaux 118

Bibliographie 119

Annexes 121

A Densité des montants de primes MAV 2020 121

B Méthode Chain Ladder 121

C Densité des charges des 3 scénarios simulés par périmètre 123

D Code R : simulation de l'assiette de prime 2021 sur le principe de Monte Carlo 125

E Tables de mortalité réglementaires TH 002 et TF 002 et leurs nombres de commutation 126

Introduction

La réassurance est un processus visant à protéger les assureurs contre une sinistralité extrême en fréquence ou en sévérité, la réassurance peut aider à consolider la solvabilité ainsi que la stabilité financière des organismes qui se réassurent.

Depuis l'entrée en vigueur de la norme Solvabilité II, les outils de mitigation des risques comme la réassurance sont mieux pris en compte d'après [7] (Cabrignac, 2017). En effet les nouvelles dispositions prises en matière de réassurance doivent figurer dans le rapport de la fonction actuarielle afin de justifier les modifications apportées à la couverture vis à vis du profil de l'organisme.

En 2021, à la suite d'un appel d'offre organisé en 2020 par Natixis Assurances, l'intermédiation du programme de réassurance est répartie entre deux sociétés de courtage en réassurance appelés par la suite courtier 1 et courtier 2. Les courtiers retenus ont donc joué le rôle d'intermédiaire entre la cédante et les réassureurs, afin de conseiller Natixis Assurances.

Dans ce contexte, Natixis Assurances a mis en place un nouveau programme de réassurance, notamment sur l'activité de Prévoyance Individuelle, répartie entre ses deux filiales : BPCE Vie et BPCE Prévoyance.

Suite aux échanges en 2020 sur la faisabilité pour BPCE de mettre en place un excédent de sinistre par Tête global, le courtier 2 a travaillé sur deux possibilités de structuration pour cet XS Tête afin de prendre en compte les contraintes opérationnelles et informatiques de BPCE. En août 2020, il a été décidé d'orienter les études de structuration vers une mise en place au 1er janvier 2021 d'une structure XS Tête à 100% par tête, risque et produit, permettant ainsi la conservation du fonctionnement par risque et produit, c'est à dire avec la même granularité que l'ancien plan de réassurance, ce qui limite au maximum les remaniements informatiques et, par suite, les risques opérationnels.

Après la mise en place de cette nouvelle structure de réassurance, Natixis Assurances a décidé de mener des études complémentaires qui visent à évaluer rétrospectivement l'efficacité de la structure de réassurance qui a été retenue. En effet, les changements structurels de la couverture de réassurance 2021 sont fondamentalement différents des évolutions habituelles en termes de réassurance sur le périmètre de la Prévoyance et la nécessité de l'étude approfondie du nouveau programme de réassurance est d'autant plus grande qu'aucune étude n'a été menée à ce jour.

L'objet de ce mémoire est donc d'étudier les paramètres 2021 des traités par risque en Quotes-Parts et XS Tête mais plus globalement, de reconsidérer la nouvelle stratégie de réassurance en Prévoyance Individuelle, ainsi que les propositions des courtiers en réassurance pour l'année 2022.

Après l'évaluation a posteriori et a priori du nouveau plan de réassurance 2021 sur le périmètre de la Prévoyance Individuelle à travers les indicateurs d'efficacité retenus, il conviendra d'étudier l'impact de la proposition des courtiers afin de vérifier si celle-ci est plus optimale vis à vis du portefeuille de Natixis Assurances. Dans une dernière partie il sera question de considérer les effets du nouveau plan de réassurance sur la rémunération des banques, notamment à travers les commissions reversées aux banques et à travers la nouvelle norme comptable IFRS 17.

1 Chapitre 1 - Contexte

1.1 Présentation de l'entreprise

Le groupe BPCE (Banque Populaire - Caisse d'Epargne) né de la fusion en 2009, des deux réseaux Banque Populaire et Caisse d'Epargne, est le deuxième acteur bancaire en France. Natixis, filiale du groupe BPCE, a été créée en 2006, et est issue de la fusion des banques d'investissement de Banque Populaire et Caisse d'Epargne. Elle regroupe les pôles de banque internationale de financement, de gestion, d'assurance et de services financiers.

Natixis Assurances se situe au sein du pôle épargne et assurance de Natixis et a connu une croissance solide ces dernières années, pour devenir aujourd'hui un des acteurs majeurs du secteur en France.

Le premier distributeur des produits Natixis Assurances est le réseau Banque Populaire car la partie assurance des Caisses d'Epargne ne s'est pas intégrée immédiatement au réseau. Par exemple, les premiers produits d'assurance prévoyance de la Caisse d'Epargne ont vu le jour en 2016 seulement.

Le bancassureur est organisé autour de deux grands métiers :

- **L'assurance de personnes :** correspondant aux activités d'assurance vie, épargne, transmission de patrimoine, retraite, assurance décès, assurance dépendance et assurance des emprunteurs.
- **L'assurance non vie :** correspondant aux activités d'assurance automobile, multirisque habitation, complémentaire santé, garantie des accidents de la vie, assurance des équipements multimédias, protection juridique, assurances parabancaires, télésurveillance et assurances des professionnels.

Ses filiales BPCE vie et BPCE prévoyance sont des sociétés d'assurance qui ont les accréditations nécessaires auprès de l'ACPR (Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution) [1] qui est l'organe de supervision français de la banque et de l'assurance. Elles couvrent ainsi chacune un domaine particulier de l'assurance, mais ces deux organismes ont des activités en prévoyance individuelle.

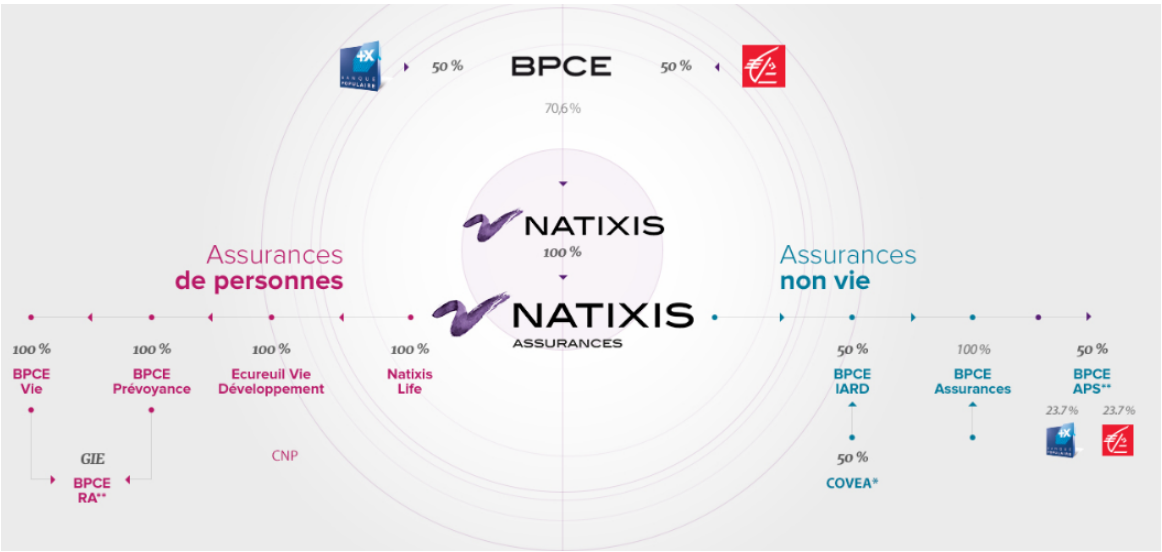

FIGURE 3 – Organigramme du groupe BPCE et ses filiales

Le pôle principal de la structure de Natixis Assurances est le pôle Assurances de personnes qui comprend notamment l'assurance vie, l'épargne, la retraite, l'assurance des emprunteurs, la transmission de patrimoine et l'assurance dépendance. C'est dans ce pôle que se trouve le département Actuariat Produits Prévoyance.

1.2 Direction Produits et service Prévoyance Individuelle

Selon la loi Evin du 31 décembre 1989, la prévoyance regroupe « les opérations ayant pour objet la prévention et la couverture du risque décès, des risques portant atteinte à l'intégrité physique de la personne ou liés à la maternité, des risques d'incapacité de travail ou d'invalidité ou du risque chômage ».

La direction produits et plus particulièrement la prévoyance individuelle chez Natixis Assurances offrent une couverture contre les aléas de la vie. Elles peuvent apporter une protection financière à l'assuré et à ses proches en cas d'arrêt de travail, d'invalidité, ou encore de décès.

La prévoyance individuelle désigne ainsi tous les contrats et garanties souscrits à titre individuel, qui couvrent les risques sociaux liés à la personne en cas de décès, d'accident ou d'arrêt de travail. L'arrêt de travail peut être temporaire ou définitif. Il peut résulter d'accidents de la vie quotidienne ou maladies causant une incapacité de travail, une invalidité, voire un décès. L'intérêt des contrats de prévoyance est d'assurer le maintien des revenus de la personne et de sa famille.

Les principales missions confiées au service Actuariat Produits Prévoyance :

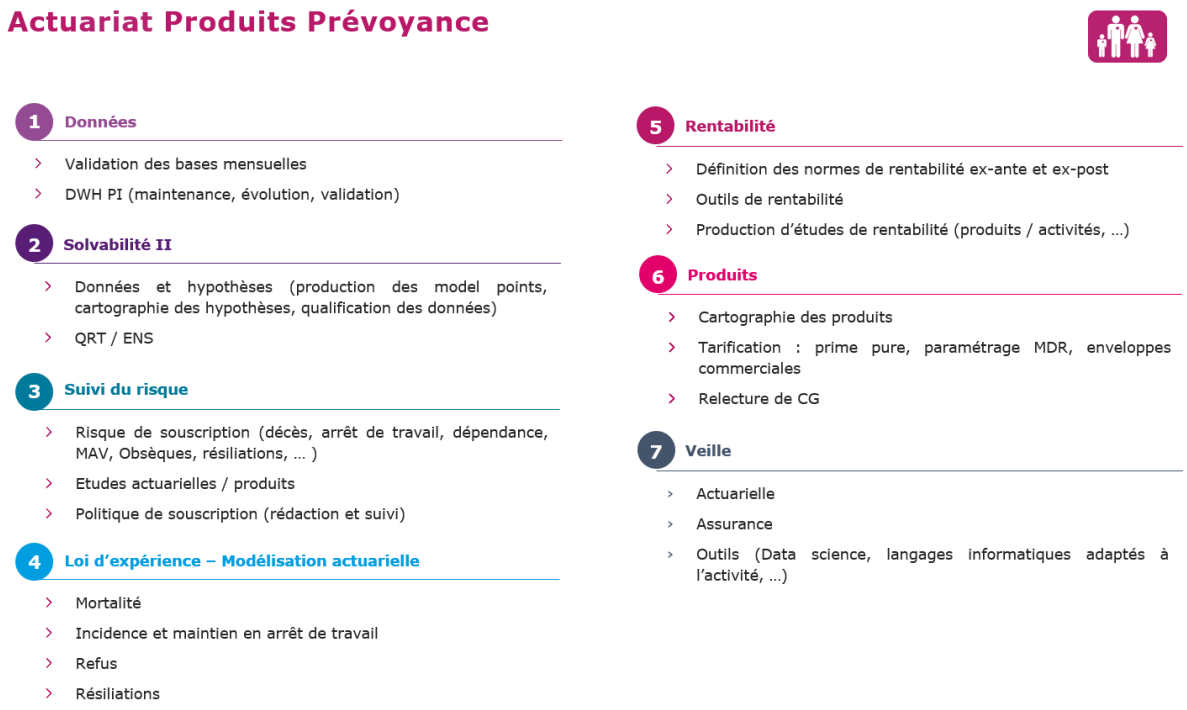

FIGURE 4 – Missions principales réalisées par la prévoyance individuelle

1.3 Risques et produits Natixis Assurances

Ci-dessous sont présentés les agréments, les risques et les types de prestations en Prévoyance Individuelle chez Natixis Assurances au sens du Code des assurances [10].

Assurances	Risques	Prestations
Décès, agrément de la branche 20	Décès toutes causes (DCTC)	Capital décès
Décès, agrément de la branche 20	Garanties accessoires ou complémentaires (doublement/triplement accident, IAD, PTIA, etc.)	Capital décès supplémentaire ou anticipé
Dommages corporels : Accident, agrément de la branche 1, ou Maladie, agrément de la branche 2	Décès accidentel (DCAC), Arrêt de travail (AT) : incapacité, invalidité, Dépendance, Santé, Accidents de la vie privée	Capital, Rente ou Remboursement des dépenses de santé

Table 1 – Tableau des principaux risques couverts

Sur le périmètre étudié, plusieurs familles de produits sont commercialisées par les réseaux Banque populaire et Caisse d'Epargne.

Ci-dessous sont présentées les familles de produits commercialisées pour chacune des garanties étudiées, pour chaque réseau de distribution.

Risque couvert	Produits du réseau des Banques Populaires	Produits du réseau des Caisses d'Epargne
Décès Toutes Causes	Fructi-Famille, Fructi-Facilités, Fructi-Pro, Dédicace, Fructi Homme Clé, Assurance Famille, Tisséa	Sécur Famille, Assurance Famille, Assurance Homme-Clé, Sécur Urgence
Décès accidentel	Fructi-Famille, Fructi-Budget, Fructi-Facilités, Fructi-Pro, Fructi Homme Clé, Tisséa	Sécur Famille, Assurance Homme-Clé
Arrêt de travail	Fructi-Professionnel Prévoyance, Fructi-Agri Prévoyance, Céramik Pro Prévoyance, Céramik Agri Prévoyance, Fructi Homme-Clé	Assurance Homme-Clé

Table 2 – Tableau des produits des deux réseaux BP et CE

Chez Natixis, il existe deux types de gestion pour des raisons historiques :

- La Gestion Centralisée (GC) : Il s'agit d'une gestion nationale des produits par Natixis, celle-ci fixe le tarif des produits et effectue leur suivi.
- La Gestion Déléguée (GD) : Dans ce type de gestion, la banque peut participer à la détermination du prix des produits et elle assure une partie de leur gestion.

Ce mémoire évaluera le nouveau programme de réassurance uniquement sur **le périmètre de la gestion centralisée**, car les données sont accessibles, ce qui n'est pas forcément le cas pour la gestion déléguée. Dans ce qui suit, tous les produits décrits sont en gestion centralisée.

1.3.1 Description détaillée des principaux produits

Fructi-Famille

Fructi-Famille est un contrat d'assurance de groupe à adhésion facultative régi par le Code des assurances [10] et soumis à l'Autorité de contrôle prudentiel et de résolution (ACPR) [1]. Il relève de la branche 20 (vie-décès) du Code des assurances et a pour objet le versement d'un capital en cas de décès ou de Perte Totale et Irréversible d'Autonomie (PTIA) par suite d'accident et/ou de maladie de l'assuré.

Risque(s) garanti(s) : il y a 2 versions de couverture de risques :

- « Accident – Maladie » assortie de 2 garanties complémentaires. En cas de décès par accident le capital de base garanti est doublé, en cas de décès par accident de la circulation, le capital de base garanti est triplé.
- « Accident »

Conditions d'adhésion : Tout client bancaire particulier des Banques Populaires peut souscrire à ce contrat. L'adhérent est une personne personne physique correspondant à l'assuré, il doit résider fiscalement en France à l'adhésion est être âgé d'au moins 18 ans.
Montant de prestation : L'assuré choisit le montant du capital de base qu'il souhaite garantir : entre 15 000 et 149 000 euros.

Bénéficiaires : En cas de décès la désignation d'une personne physique est libre et en cas de Perte Totale et Irréversible d'Autonomie le bénéficiaire est l'assuré lui-même.

Durée du contrat : Un an à compter de la date d'effet de l'adhésion jusqu'au 31 décembre de l'année d'adhésion, renouvelable annuellement par tacite reconduction à chaque 1er janvier.

Réseau de distribution : Ce produit était distribué par le réseau Banque Populaire, mais n'est plus commercialisé à ce jour. Les contrats Fructi-Famille sont en *run off*.

Assurance Famille

Le produit Assurance Famille est un contrat collectif d'assurance de groupe sur la vie à adhésion facultative, souscrit par BPCE auprès de BPCE Vie et BPCE Prévoyance agissant pour le compte du Réseau des Banques Populaires et des Caisses d'Epargne et de leurs filiales. C'est un contrat temporaire décès de prévoyance à caractère forfaitaire. Il relève des branches 1 (accidents), 2 (maladie) et 20 (vie-décès) du Code des assurances [10]. Ce contrat d'assurance a pour objet :

- Le versement d'un capital et/ou de rente éducation en cas de décès quelle qu'en soit la cause
- Le versement d'un capital en cas de PTIA (perte totale et irréversible autonomie) quelle qu'en soit la cause
- Le versement d'un capital en cas de maladie redoutée

En cas de décès ou de PTIA suite à un accident, le capital garanti est doublé.

Conditions d'adhésion : L'adhérent est une personne physique capable, résidente fiscale française, âgé entre 18 et 69 ans (pour les risques PTIA / Maladie Redoutée) ou 85 ans (pour le décès). L'adhérent et l'assuré sont une seule et même personne physique qui répond aux conditions d'adhésion.

Prestations : Le montant du capital garanti minimum est 20 000€, il n'y a pas de plafond maximum, et le choix du montant se fait par palier de 1 000€. A l'adhésion, l'adhérent choisit si les prestations en cas de décès seront versées sous forme de capital, de rente éducation ou d'un panachage des deux.

Bénéficiaire : Le ou les bénéficiaires sont les personnes qui reçoivent les prestations prévues à l'adhésion au contrat. Le ou les bénéficiaire en cas de décès sont désignés par l'adhérent à l'adhésion ou en cours de vie du contrat (sous certaines conditions).

Durée d'adhésion : La durée de l'adhésion est annuelle, renouvelable par tacite reconduction.

Fructi Homme Clé

Fructi Homme Clé est un contrat d'assurance de groupe à adhésion facultative ayant pour objet, le versement d'un capital en cas de décès ou d'IAD de l'homme-clé assuré :

- à l'entreprise adhérente pour compenser la perte d'exploitation engendrée par la disparition de l'homme-clé.
- à l'organisme prêteur pour garantir le prêt souscrit pour les besoins de l'exploitation

L'homme Clé assuré doit :

— avoir au moins 18 ans et moins de 65 ans à l'adhésion,

— être le chef d'entreprise salarié ou non, ou un collaborateur cadre ou non cadre, dont l'absence définitive entraînerait une perte d'exploitation pour l'entreprise,

— ne doit pas exercer l'une des professions ou activités spéciales suivantes : travail sur plate-forme ou sur chantier de forage en mer, alpinisme, guide de haute montagne, parachutisme, spéléologie, mineur, domptage, manipulation de matières explosives, activités acrobatiques et pratiques de compétitions sportives à titre professionnel ou rémunéré (entraînements inclus), organisées par une association affiliée à une fédération.

Risques assurés : il y a deux versions au choix, une version « Accident-Maladie » avec option de majoration du capital en cas d'accident et une version « Accident » seul.

Prestations : Le montant minimum est de 50 000€et le montant maximum est de 3 000 000€(capital de base avec option « majoration accident » en version accident/maladie)

Bénéficiaire : L'entreprise adhérente, ou dans le cas où le contrat garantit un prêt souscrit pour les besoins de l'exploitation, la Banque pour les sommes qui lui restent dues au titre de sa créance et l'entreprise adhérente pour le solde éventuel.

Durée d'adhésion : Un an renouvelable annuellement par tacite reconduction à chaque 1er janvier.

Réseau de distribution : Le produit Fructi Homme Clé est distribué par le réseau Banque Populaire, le produit analogue distribué par le réseau Caisse d'Epargne s'appelle Assurance Homme-Clé.

Prévoyance Pro

Ce contrat d'assurance est structuré en 3 formules et a pour objet :

- En cas de Décès/PTIA, le versement d'un capital ou d'une rente de 50 mensualités (le choix de la rente est obligatoire en cas de fiscalité Madelin)
- En cas d'Arrêt de travail, le versement d'une indemnité journalière dans le cadre de la garantie Incapacité Temporaire Totale de travail (ITT).
- Les formules Confort et Optimal ouvrent droit au versement d'une rente mensuelle en garantie Invalidité Permanente Totale ou Partielle de travail.
- En option et conjointement à la souscription de la formule Confort ou Optimal : Une garantie Frais d'Exploitation Permanents pour les assurés ayant au minimum 2 années d'exercice, ouvrant droit au versement d'une indemnité journalière à l'assuré (dans le cas d'un entrepreneur individuel ou la personne morale). Cette garantie sera sinistrée simultanément à la garantie ITT.

L'adhérent et l'assuré sont une seule et même personne physique qui répond aux conditions d'adhésion.

Marché ciblé : Ce produit concerne les TNS (Travailleurs non salariés) non agricoles et leur conjoint collaborateur, les TNS agricoles et leur conjoint collaborateur, les dirigeants salariés ou rémunérés exclusivement en dividendes, et les micro-entrepreneurs entre 18 et 64 ans souhaitant se prémunir des conséquences d'une maladie ou d'un accident en protégeant leurs proches en cas de décès ou de PTIA, et en assurant la pérennité de leur entreprise et de leurs revenus en cas d'arrêt de travail.

Bénéficiaire : En cas de PTIA, d'ITT, IPT ou IPP, le bénéficiaire est l'assuré lui-même. En cas de décès, l'adhérent désigne le ou les bénéficiaire(s) sur le bulletin d'adhésion et/ou ultérieurement par avenant à l'adhésion. En l'absence de désignation de bénéficiaire, le capital décès ou la rente est versé au conjoint de l'adhérent à la date du décès, à défaut à ses enfants nés ou à naître, vivants ou représentés, à défaut à ses héritiers selon les règles de la dévolution successorale. Enfin, en cas d'option pour les Frais d'Exploitation Permanents le bénéficiaire est la personne morale (ou physique dans le cas d'une entreprise individuelle).

Prestations :

- En cas d'arrêt de travail le montant minimum est de 500€mensuels et le montant maximum est de 20 000€mensuels. Le choix du montant se fait par tranche de 100€.
- En cas de décès/PTIA, la prestation est versée sous la forme d'un capital ou d'une rente au choix du client (sauf en cas de fiscalité Madelin où la rente est obligatoire). Le montant minimum est de 25 000€et il n'y a pas de plafond. Le choix du montant se fait par tranche de 5 000€.

Durée d'adhésion : La durée de l'adhésion est annuelle renouvelable par tacite reconduction à l'échéance anniversaire de la date de conclusion de l'adhésion.

Réseau de distribution : Ce produit existe dans les deux réseaux Banque Populaire et Caisse d'Epargne.

Multirisque des Accidents de la Vie

Le produit Multirisque des Accidents de la Vie (MAV) est un contrat d'assurance de groupe à adhésion facultative. C'est un contrat de prévoyance à caractère **indemnitaire**.

Le contrat garantit les préjudices résultant d'un événement accidentel garanti qui survient dans le cadre de la vie privée et qui a pour conséquence soit le décès, soit une incapacité permanente.

La MAV permet à l'assuré d'obtenir une aide pour maintenir son niveau de vie après un accident de la vie privée.

L'adhésion se fait par une personne physique et l'adhérent peut être différent de l'assuré.

Les bénéficiaires sont l'assuré, son conjoint, concubin ou partenaire lié par un PACS, leurs enfants de moins de 26 ans sans limite de nombre et nommément désignés sur le bulletin d'adhésion.

Risque(s) garanti(s) :

Sont garanties les conséquences des dommages corporels résultant des accidents suivants :

Accident de la vie privée : toute atteinte corporelle résultant d'un événement soudain, brutal et imprévu, direct ou exclusif, individuel ou collectif dû à une cause extérieure, étrangère à la volonté de l'assuré.

Accident médical : conséquences d'un accident médical générant - une incapacité permanente "non grave" comprise entre 5% et un taux fixé par décret (actuellement de 24%) - ou le décès (sauf si infection nosocomiale).

Accident dû à un attentat ou une infraction : conséquences de dommages corporels résultant d'accidents pouvant constituer un délit ou un crime au sens du Code Pénal français dont l'assuré a été victime sans avoir pris intentionnellement part.

Accident corporel subi lors d'une catastrophe naturelle ou technologique : conséquences de dommages corporels occasionnés par :
- l'intensité anormale d'un agent naturel (inondation, raz de marée, tremblement de terre...).
- la survenue d'un accident impliquant la mise en œuvre de la technologie moderne et imputable à des produits, installation, pollution, transports collectifs (exemples : effondrement d'un bâtiment, déraillement d'un train...).

Prestations :

En cas de blessures : Réparation des préjudices patrimoniaux : incapacité permanente partielle ou totale. Réparation des préjudices personnels : esthétiques, souffrances endurées et préjudices d'agrément.

En cas de décès : réparation des préjudices économiques et moraux subis par les ayants-droit (conjoint de fait et de droit, ascendants, descendants et collatéraux de l'assuré ou de son conjoint de droit ou de fait, justifiant avoir subi un préjudice moral et/ou économique du fait du décès de l'assuré).

Plafond du montant de l'indemnité :

Version "client" : 1 million d'euros par victime assurée et par événement

Version "sociétaire" : 1,2 million d'euros par victime assurée et par événement (sociétaire signifie actionnaire Banques Populaires ou Crédit Maritime)

Versement des indemnités :

Les indemnités sont proposées dans des délais calqués sur ceux de la loi Badinter (loi de 1985 qui a permis l'indemnisation des dommages corporels résultant d'un accident de la route) et au plus tard dans les cinq mois qui suivent la date à laquelle l'assureur a eu connaissance de la consolidation de l'état de santé de l'assuré ou de son décès (à condition que, dans ce délai, l'assuré ou ses ayants droit aient communiqué, à l'assureur, l'état de prestations perçues ou à percevoir). Le règlement de la somme convenue doit intervenir dans un délai d'un mois à partir de l'accord de la victime ou des ayants droit.

Réseau de distribution : Ce produit est distribué par le réseau Banque Populaire, il n'existe pas de produit analogue chez la Caisse d'Epargne.

1.4 Réassurance dans la prévoyance individuelle

Dans cette section seront présentés les principaux types de traité figurant dans les programmes de réassurance 2020 et 2021 de Natixis Assurances sur le périmètre de la prévoyance individuelle. Ces traités sont distingués selon leur caractère proportionnel ou non proportionnel.

Dans le cas des traités dits "proportionnels" les primes et les charges de sinistres sont cédées au réassureur dans une proportion équivalente.

Dans le cas des traités dits "non proportionnels" l'assiette de cession des primes n'est pas proportionnelle à l'assiette de cession des sinistres. En effet, le réassureur s'engage à participer aux sinistres jusqu'à un montant maximum, la portée, et au-delà de la somme conservée par l'assureur, la priorité, le tout moyennant une prime calculée globalement par le réassureur pour l'ensemble du portefeuille couvert.

1.4.1 La réassurance proportionnelle

Le traité en Quote-Part :

Dans une cession Quote-Part l'assureur cède au réassureur une part fixe et uniforme de toutes les souscriptions et garanties stipulées dans le traité.

En effet, la cédante et le réassureur s'accordent sur un taux de cession, x%. Celui-ci s'applique aux sinistres et aux primes.

L'assureur cède donc x% des primes au réassureur, tandis que le réassureur prend en charge x% des sinistres.

Exemple : QP avec taux de cession de 40%

	Montant des capitaux garantis (k€)	Part des sinsitres réassureur (k€)	Part des sinistres assureur (k€)
Sinistre 1	6 000	6 000 * 40%	6 000 * (100%-40%)
Sinistre 2	4 000	4 000 * 40%	4 000 * (100%-40%)
Sinistre 3	8 000	8 000 * 40%	8 000 * (100%-40%)

Table 3 – Exemple QP - Tableau d'illustration

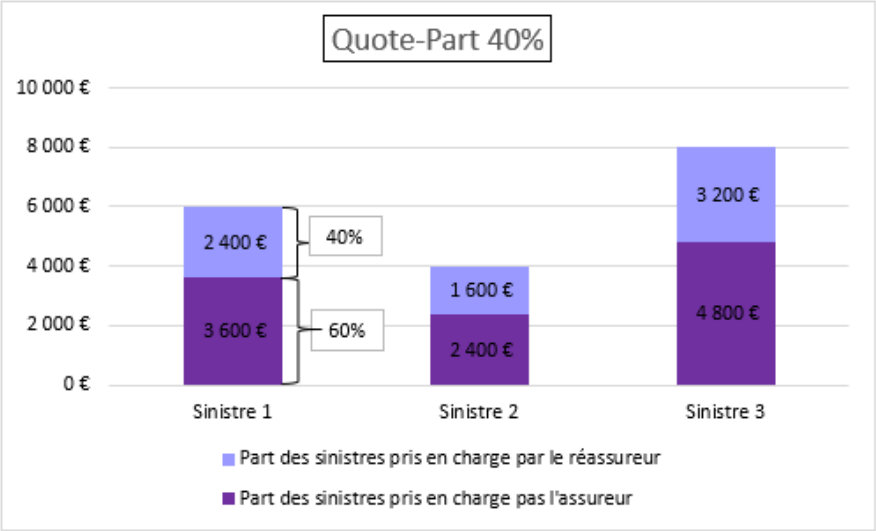

Figure 5 – Graphique d'illustration QP

Le traité en excédent de plein :

Le réassureur va intervenir uniquement sur les polices dépassant un certain montant de garantie, appelé plein de rétention.

En notant N et P les paramètres du traité en XP avec :
- P : le montant de la rétention appelé "plein"
- N : la capacité ou portée du traité exprimée en nombre de plein

Le taux de cession x, dans un traité en excédent de plein est calculé comme suit :
$x\% = Min(CSR - P; N * P)/CSR$
$1 - x\%$ = Taux de conservation sinistre
Avec CSR = Capitaux Sous Risques ou encore montant garanti

Le réassureur prend en charge le montant du sinistre multiplié pas ce taux de cession x.

L'assureur cède x% des primes correspondant à un contrat ayant un montant garanti supérieur au plein de rétention.

Exemple : Excédent de plein de capacité 6000 et de plein 3000 (ici P = 3000 et N = 2)

A noter : en Prévoyance Individuelle les montants de sinistres correspondent souvent aux montants garantis des contrats hormis pour le produit indemnitaire MAV.

	Montant des capitaux garantis (k€)	Montant de sinistre (k€)	Rétention (k€)	Montant couvert par le réassureur (k€)	Montant au-delà de la capacité (k€)
Sinistre 1	7 000	6 000	2 571	3 429	0
Sinistre 2	15 000	12 000	2 400	4 800	4 800
Sinistre 3	10 000	3 600	1 080	2 160	360
Sinistre 4	3 000	3 000	3 000	0	0

Table 4 – Exemple XP - Tableau d'illustration

Dans cet exemple, le taux de cession du sinistre 1 se calcule comme suit : $min(7000 - 3000; 2 * 3000)/7000 = 57\%$. De la même manière, le taux de cession du sinistre 2 est de 40%, celui du sinistre 3 est de 60% et celui du sinistre 4 est nul.

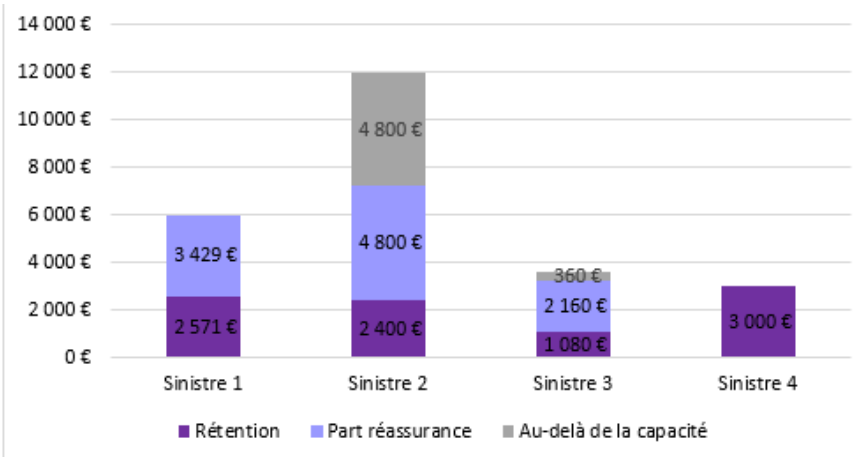

Figure 6 – Graphique d'illustration XP

1.4.2 La réassurance non proportionnelle

Le traité en excédent de sinistres par tête :

L'assureur paye une prime annuelle globale et en échange le réassureur s'engage à payer, dans une période déterminée, un montant inférieur ou égal à la portée à chaque fois qu'une police est sinistrée pour un montant supérieur à la priorité. Noté "portée XS priorité".

Exemple : 4000 XS 3000

Le réassureur va prendre en charge les montants dépassant 3 000k€avec une prise en charge maximale de 4 000k€

A noter : en Prévoyance Individuelle les montants de sinistres correspondent souvent aux montants garantis des contrats hormis pour le produit indemnitaire MAV.

	Montant des capitaux garantis (k€)	Montant de sinistre (k€)	Rétention (k€)	Montant couvert par le réassureur (k€)	Montant au-delà de la capacité (k€)
Sinistre 1	7 000	6 000	3 000	3 000	0
Sinistre 2	15 000	12 000	3 000	4 000	5 000
Sinistre 3	10 000	3 600	3 000	600	0
Sinistre 4	2 000	2 000	2 000	0	0

Table 5 – Exemple XS - Tableau d'illustration

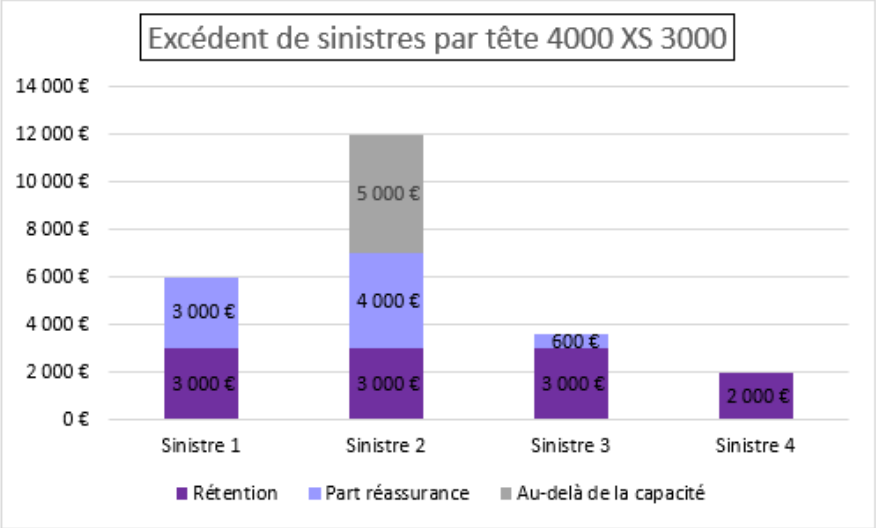

Figure 7 – Graphique d'illustration XS

Pour plus de détails sur les fondamentaux de la réassurance dans un contexte plus général, le livre (Mlynarckzyk, 2014) [20] explique les mécanismes et techniques de la réassurance en exposant, entre autres, les objectifs et l'utilité de la réassurance, l'origine et l'évolution du métier de réassureur, le marché de la réassurance et l'ensemble des techniques utilisées.

1.4.3 L'ancien plan de réassurance

Ci-dessous le schéma présente la structure de l'ancien plan de réassurance pour l'année 2020 sur le périmètre de la gestion centralisée. (Pour rappel, les chiffres ont été modifiés pour des raisons de confidentialité)

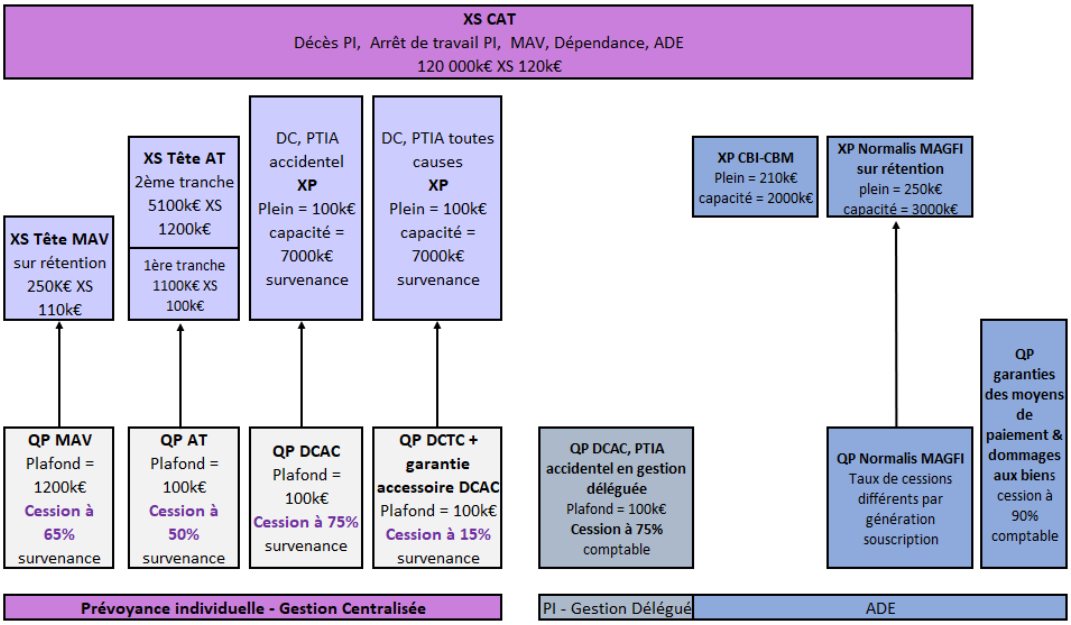

FIGURE 8 – Plan de réassurance 2020

Seuls les périmètres de risque classiques en prévoyance individuelle, à savoir MAV, DCTC, DCAC, et AT en gestion centralisée, feront l'objet des études de ce mémoire. Les produits Assurances Des Emprunteurs sont gérés par un autre service à part entière, le service ADE.

Dans cette structure, il apparaît une première couche de réassurance proportionnelle en QP avec des paramètres définis par groupe de risque.

Les groupes de risques sont les suivants :

- Décès toutes causes et garantie accessoire Décès accidentel appartenant à la société BPCE Vie
- Décès accidentel seul appartenant à la société BPCE Prévoyance
- Arrêt de travail appartenant à la société BPCE Prévoyance
- Multirisques accidents de la vie appartenant à la société BPCE Prévoyance

Les paramètres des QP sont les suivants :

- DCTC et garantie accessoire DCAC : Taux de QP à 15% et plafond à 100k€
- DCAC seul : Taux de QP à 75% et plafond à 100k€
- AT : Taux de QP à 50% et plafond à 100k€
- MAV : Taux de QP à 65% et plafond à 1200k€

Il y apparaît également une petite partie de réassurance non proportionnelle avec un XS Tête sur rétention pour le risque MAV, et un autre XS Tête en deux tranches sur le périmètre de risque AT.

Enfin, pour les risques Décès Toutes Causes et Décès accidentel, il y a de nouveau un traité de réassurance proportionelle avec cette fois-ci un excédent de plein.

1.4.4 Le nouveau plan de réassurance

Ci-dessous le schéma présente la structure du nouveau plan de réassurance pour l'année 2021. C'est ce plan de réassurance qui sera considéré tout au long de cette étude. (Pour rappel, les chiffres ont été modifiés pour des raisons de confidentialité)

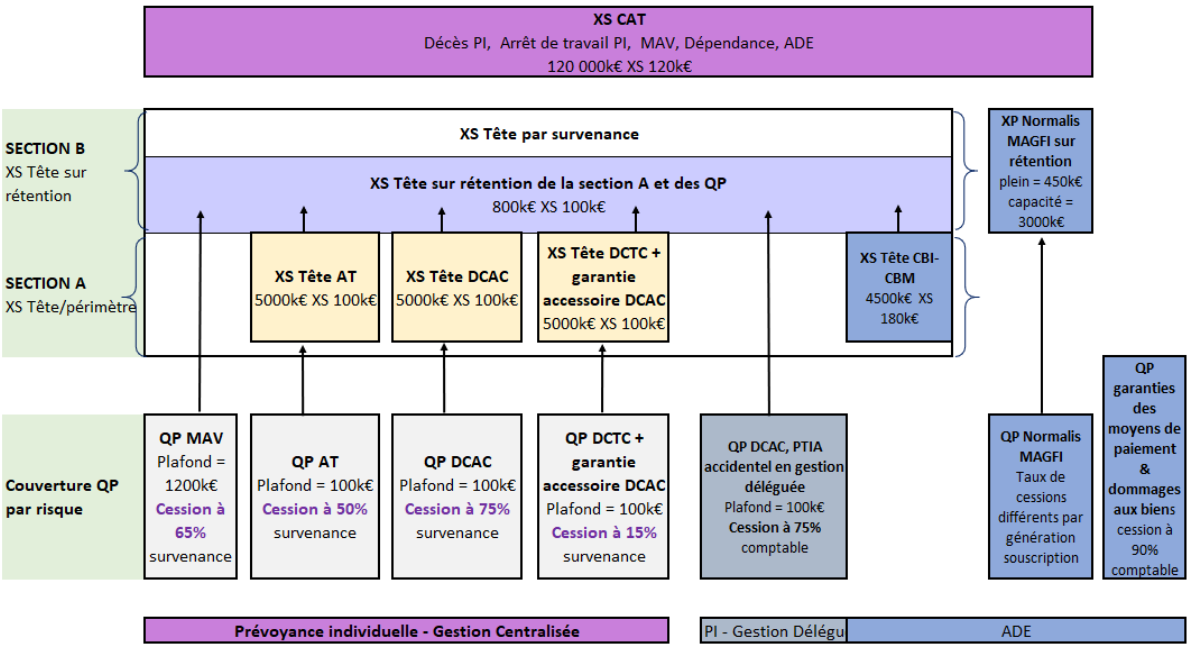

FIGURE 9 – Plan de réassurance 2021

Les paramètres des QP sont inchangés par rapport à l'ancien plan de réassurance :

- DCTC et garantie accessoire DCAC : Taux de QP à 15% et plafond à 100k€
- DCAC seul : Taux de QP à 75% et plafond à 100k€
- AT : Taux de QP à 50% et plafond à 100k€
- MAV : Taux de QP à 65% et plafond à 1200k€

Section A :
Périmètre « Incapacité/Invalidité (prévoyance) » :

- Priorité : 100 000 €
- Portée : 5 000 000 €

Périmètre « Décès, PTIA, toutes causes, gestion centralisée (prévoyance) » :

- Priorité : 100 000 €
- Portée : 5 000 000 €

Périmètre « Décès, PTIA, accidentel, gestion centralisée (prévoyance) » :

- Priorité : 100 000 €
- Portée : 5 000 000 €

Section B :

Les priorités et portées ci-après définies s'appliquent sur la sinistralité originale au cumul des affaires par tête assurée, nette, le cas échéant, des quotes-parts sous-jacentes et de la Section A du traité, hors dépassement éventuel du plafond de 5 000 000€ par périmètre et par tête assurée de la Section A.

- Priorité : 100 000 €
- Portée : 800 000 €

Les évolutions structurelles du plan de réassurance consistent en :

- Un XS Tête global divisé en deux tranches :
  1. La tranche 1 couvre les risques de pointe sur le Décès, l'Arrêt de travail et les risques CBI/CBM, c'est à dire Crédit Bail Immobilier et Mobilier mais ce périmètre appartenant à l'ADE, n'entrera pas dans le cadre de ce mémoire, en effet l'ADE est géré par un autre service.
  2. La tranche 2 couvre les cumuls sur rétention c'est à dire les cumuls de sinistres par tête restant à charge de l'assureur après application des QP et de la tranche 1.
- Une augmentation de la portée pour l'XS Tête de l'AT par rapport à 2020

Les avantages de ce nouveau plan sont :

- Une meilleure couverture des cumuls de sinistres par tête sur rétention
- Une diminution du budget de réassurance par rapport à un traité en excédent de plein
- Des gains dus au fait qu'il n'y a plus qu'un seul traité impliquant une seule immobilisation en capital pour les réassureurs
- Des gains suite à la négociation des courtiers
- Une gestion simplifiée

Les limites de ce nouveau plan sont :

- Une couverture des sinistres mutualisés par année de survenance ne permettant pas de couvrir un cumul entre un sinistre AT et un sinistre DCTC survenus sur une même tête en deux années différentes.
- Le cumul par tête de la section B comporte un biais car il n'existe pas d'identifiant commun entre la PI et l'ADE ce qui pose problème pour joindre les données CBI/CBM aux données DCAT et MAV. C'est la raison pour laquelle ce périmètre de risque n'entrera pas dans le cadre de ce mémoire.

1.4.5 La problématique actuelle

La direction Produits est responsable de l'élaboration et de la mise à jour de la politique de réassurance qui fait partie intégrante du système de gestion des risques (article 44 de la directive Solvabilité II [22], article L.354-2 du code des assurances [10]).

La politique de réassurance définit les principes et les objectifs du dispositif de réassurance, les rôles et les responsabilités des acteurs au sein de ce dispositif ainsi que les éléments du processus et suivi de la gestion des risques de réassurance.

La direction Produits se porte garante de la mise en place du dispositif de réassurance et de l'application de la politique. De plus, elle intègre l'avis et les recommandations de la Fonction Actuarielle ainsi que de la Direction des Risques, qui vont valider, ou non, l'élaboration et la mise à jour de la politique de réassurance par la direction Produits.

Un des objectifs fixé par la Direction des Risques de Natixis Assurances consiste en la mise en place d'indicateurs de mesure d'efficacité de la réassurance :

- Le plan de réassurance doit être cohérent avec le profil de risque.
- La couverture des risques graves et cumul doit être satisfaisante.
- L'efficacité en cas de scénario de crise doit être vérifiée.
- Le risque de contrepartie doit être maîtrisé.

Par conséquent, la direction Produits doit veiller à ce que l'efficacité de la structure de réassurance respecte ces objectifs. Ce mémoire s'inscrit donc dans ce contexte et doit permettre d'évaluer l'efficience du plan de réassurance 2021, d'autant plus qu'aucune étude approfondie sur ce sujet n'a été réalisée à ce jour.

Par ailleurs, les courtiers en réassurance ont proposé des évolutions du programme de réassurance pour l'année 2022. En effet une solution d'amélioration du plan de réassurance consiste en une restructuration totale de l'excédent de sinistre en passant à un XS Tête totalement sur rétention, autrement dit il est envisagé de supprimer la section A du plan actuel, de ne garder qu'une section B et d'éventuellement modifier les paramètres des QP.

Cette solution permettrait une simplification du plan de réassurance en passant à un XS tête à fonctionnement unique (sur rétention uniquement) tout en prenant en compte les cumuls par tête au même titre que la solution actuelle. Les limites éventuelles seraient une forte dépendance de l'XS tête aux paramètres des QP (taux de cessions, plafonds) et une prise en charge des cumuls de sinistres toujours au sein d'une même année de survenance.

Pour résumer, ce mémoire doit répondre aux questions suivantes :

- Puisque jusqu'à présent, il n'y a pas encore eu d'étude poussée concernant le plan de réassurance 2021, le plan actuel est-il optimal pour le portefeuille prévoyance de Natixis Assurances ?

- Est-t-il intéressant pour Natixis Assurances de supprimer la section A de la structure de réassurance actuelle ? Comment en serait impactée la couverture des sinistres de pointe ? Comment en serait impacté le coût de cette nouvelle couverture de réassurance ?

En fonction des réponses apportées par ce mémoire, il pourra être décidé si le programme de réassurance doit être modifié pour l'année 2022 et si oui, quelles seraient les améliorations à apporter au nouveau programme de réassurance.

2 Chapitre 2 - Les données

2.1 La base de données

Cette partie du mémoire présente la base de données utilisée, la qualification des données de cette base ainsi que des statistiques descriptives pertinentes pour la problématique de ce mémoire. Mais avant cela, une autre source de données sera présentée, car à l'origine ce mémoire avait pour ambition de s'appuyer sur un portefeuille constitué à partir d'une nouvelle source de données plus complète et mise à jour plus régulièrement. Malheureusement cette solution a dû être écartée pour des raisons qui seront détaillées.

2.1.1 Le Data Warehouse en prévoyance individuelle (DWH PI)

En novembre 2020, Natixis Assurances a mis en production un "entrepôt de données" pour la prévoyance individuelle dans lequel des dizaines de bases historisées de données sont mises à jour de manière mensuelle. Cet entrepôt de données est fourni avec un dictionnaire de données précisant les noms des tables, les variables qu'elles comportent, une description brève de ce que contiennent les tables et de ce que signifient les variables, les différentes clés primaires des tables etc..

Dans ce dictionnaire environ 1330 variables sont décrites toutes tables confondues, ce qui fait du DWH PI une source de données très complète à partir de laquelle il est possible de construire une base portefeuille sur le périmètre prévoyance individuelle à la maille client contrat garantie contenant également les données des sinistres.

A terme, cette nouvelle source de données tend à remplacer les bases actuellement utilisées chez Natixis Assurances en Prévoyance.

2.1.2 Construction du portefeuille PI

Ci-dessous le diagramme schématise les trois bases du DWH PI les plus importantes pour la construction du portefeuille, leurs variables clés et les liens qu'il est possible de faire entre elles :

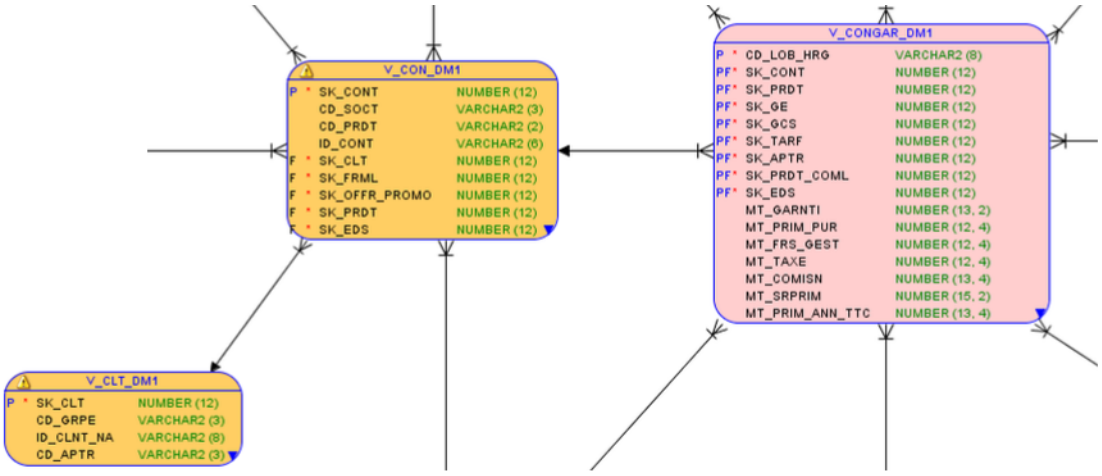

FIGURE 10 – Diagramme DWH PI

Les jointures :

Pour construire un portefeuille PI, la première étape consiste à joindre la base contenant les informations relatives aux contrats (Table V_CON_DM1) avec la base des données relatives aux garanties des contrats (Table V_CONGAR_DM1). Dans un second temps, l'ajout des données relatives aux clients (Table V_CLT_DM1) se fait en joignant la base client à la base contrat selon une clé de jointure commune aux deux bases. Enfin, il est intéressant pour ce mémoire de joindre les données des sinistres au portefeuille en vue de mener certaines études a posteriori pour vérifier notamment l'efficacité de la

structure de réassurance vis à vis de l'expérience de sinistres du portefeuille.

Pour chaque jointure il convient de vérifier ces indicateurs :

- **Le critère d'exhaustivité des variables :** en effet il faut regarder s'il n'y a pas de perte d'information importante ou bien une augmentation injustifiée du nombre de ligne lors de la jointure. Pour cela il faut prêter attention aux doublons sur la clé primaire identifiée, et vérifier des statistiques de portefeuille avec une source extérieure à la source de la base.
- **Le critère d'exactitude des variables :** c'est à dire la qualité des valeurs des variables après jointure (nombre de valeurs manquantes, nombre de valeurs aberrantes, nombre de valeurs incohérentes).

Les premiers contrôles des bases de données brutes :

Dans un premier temps il faut veiller à ce que les bases présentes dans le Data Warehouse soient complètes en contrôlant les valeurs manquantes ou aberrantes. Lors de points réguliers avec le service IT plusieurs problèmes bloquants ont pu être remontés. (et certains résolus)

Ci-dessous une liste non exhaustive des problèmes rencontrés :

- Dans la base client il manque environ 300 000 codes sexe, dates de naissance et libellés prénom, ces valeurs manquantes provenaient pour la plus grande partie du produit Fructi Homme Clé pour lequel le souscripteur est une entreprise et l'assuré est un employé. Il a été conclu que la vision de la base client était une vision adhérent et non assuré.
- Pour le produit Fructi Homme clé, le nom renseigné étant celui de l'entreprise et non celui de l'assuré, il ne pourra pas y avoir de lien entre le périmètre PI et le périmètre ADE.
- Dans la base client la variable date décès n'est pas fiable et est souvent renseignée dans la variable date de clôture mais pas toujours.
- Dans la base contrat, la variable code "lob hrg" prend des valeurs abérrantes (99999 et 0) or les codes lob hrg sont utiles à la définition des deux réseaux BP et CE.
- Dans la base contrat et garantie il manque des montants de prime pure, des frais et taxes (environ 60 000).
- la clé de jointure (variable SK_CLT) entre les bases client et contrat possède plus de valeurs dans la base client que dans la base contrat (1 866 291 clients sont présents dans la base client mais absents de la base contrat). La jointure entre ces bases via cette clé fait donc perdre beaucoup d'informations client.

2.1.3 La base portefeuille utilisée

A ce jour, la base portefeuille créée à partir du DWH-PI n'est pas suffisamment fiable pour être utilisée dans le cadre de ce mémoire. Les contrôles de cohérence ont confirmé que les points bloquants rencontrés étaient trop importants, des retraitements ne sont pas toujours possibles pour contourner les problèmes rencontrés, il a donc été décidé d'utiliser une base de données historiques plus fiable pour mener à bien les études de ce mémoire.

La base de données utilisée dans le cadre de ce mémoire est la base *Solvency-ATPI* extraite au premier trimestre 2021 par le département informatique. C'est une base à la maille client contrat et garantie comportant des données sur les sinistres pour les périmètre de risques DCAT et MAV. En complément, les bases comptables historiques des sinistres par périmètre de risques DCTC, DCAC, AT et MAV seront utilisées notamment pour les études des sinistralités a posteriori.

2.2 Qualification de la base de données

Pour valider la base historique utilisée dans le cadre de ce mémoire, des contrôles sont faits avec d'autres sources disponibles comme les bases comptables des sinistres et un outil créé en interne par un actuaire expérimenté, produisant des statistiques portefeuille à partir des comptes (OSIRIS). Cela va permettre une validation croisée de la base *solvency*.

2.2.1 Contrôles du nombre de contrats en cours et de têtes assurées

Ci-dessous le tableau présente le nombre de contrats en cours ainsi que le nombre de têtes assurées pour l'année 2020 par réseau et par risque.

Réseau	Risque	Nombre de contrats dans OSIRIS	Nombre de contrats dans la base solvency	Ecart entre le nombre de contrats solvency et OSIRIS	Nombre de têtes assurées OSIRIS	Nombre de têtes assurées dans la base solvency	Ecart entre le nombre de têtes solvency et OSIRIS
BP	AT	13349	12770	-4.34%	13289	12488	-6.03%
BP	DCAC	586620	613693	4.62%	572596	575402	0.49%
BP	DCTC	543304	557339	2.58%	523963	531022	1.35%
BP	MAV	238612	220001	-7.80%	445883	217390	-51.25%
CE	AT	3974	4092	2.97%	3974	4086	2.83%
CE	DCAC	455594	487608	7.03%	446110	469731	5.29%
CE	DCTC	699074	747760	6.96%	625255	648077	3.65%

Table 6 – Tableau des écarts en nombre de contrats et têtes assurées par réseau et risque en 2020

Les écarts sont calculés entre les chiffres obtenus à partir de la base historique notée *Solvency* et ceux obtenus à partir de l'outil OSIRIS notés *Osiris* comme suit : $(Solvency - Osiris)/Osiris$

Sur le périmètre de risque MAV, l'écart entre *Solvency* et OSIRIS en nombre de têtes assurées s'explique par la nature du produit MAV qui peut couvrir plusieurs assurés. Or, dans la base *solvency* il n'y a que les assurés principaux alors que dans OSIRIS il y a les assurés principaux et les assurés secondaires (bénéficiaires). En effet, en vision bénéficiaire il y a le double d'assurés (par exemple le conjoint de l'assuré principal ou un enfant).

Pour les autres périmètres dont les écarts sont supérieurs à 5% cela peut se justifier par la date d'extraction de la base *solvency* au T1 2021 (mars 2021) qui est supérieure à la date d'extraction de la base utilisée par l'outil OSIRIS datant du T4 2020 (décembre 2020).

Sur les autres périmètres, les écarts sont acceptables dès lors qu'ils sont inférieurs à 5% en valeur absolue et permettent de valider le nombre de contrats en cours ainsi que le nombre de têtes assurées *solvency*.

Ci-dessous le tableau présente le nombre de contrats en cours ainsi que le nombre de têtes assurées pour l'année 2019 par réseau et par risque.

Réseau	Risque	Nombre de contrats dans OSIRIS	Nombre de contrats dans la base solvency	Ecart entre le nombre de contrats solvency et OSIRIS	Nombre de têtes assurées OSIRIS	Nombre de têtes assurées dans la base solvency	Ecart entre le nombre de têtes solvency et OSIRIS
BP	AT	13401	12954	-3.34%	13344	12704	-4.80%
BP	DCAC	599779	632480	5.45%	586030	592687	1.14%
BP	DCTC	493052	513446	4.14%	478730	487743	1.88%
BP	MAV	218560	203750	-6.78%	408970	201365	-50.76%
CE	AT	10	13	27.27%	10	13	27.27%
CE	DCAC	414767	451824	8.93%	407334	437693	7.45%
CE	DCTC	566113	617056	9.00%	512564	538426	5.05%

TABLE 7 – Tableau des écarts en nombre de contrats et têtes assurées par réseau et risque en 2019

Pour 2019, les constats sont les mêmes que pour l'année 2020, les faibles écarts inférieurs à 5% en valeur absolue permettent de valider les données de l'année 2019, et il y a toujours le même écart concernant le nombre de têtes assurées pour le risque MAV.

Pour les périmètres dont les écarts sont supérieurs à 5% cela peut se justifier par la date d'extraction de la base *solvency* au T1 2021 (mars 2021) qui est supérieure à la date d'extraction de la base utilisée par l'outil OSIRIS datant du T4 2019 (décembre 2019).

2.2.2 Contrôles des prestations

Ci-dessous le tableau présente les montants de prestations pour le risque Décès Toutes Causes (DCTC) présents dans la base historique par année de survenance des sinistres.

Des écarts sont calculés avec les montants de prestation réglés présents dans la base comptable des sinistres DCTC.

$$Ecart = (Prestations - Reglement\ Comptable)/Reglement\ Comptable$$

Année de survenance	Total comptable	Total base solvency	Ecart
2020	€6,070,090	€13,687,372	56.00%
2019	€16,848,008	€17,705,496	5.00%
2018	€14,443,610	€14,699,084	2.00%
2017	€13,870,259	€13,997,180	1.00%
2016	€13,238,865	€13,313,300	1.00%
2015	€14,157,522	€14,269,257	1.00%
2014	€12,301,656	€12,301,656	0.00%
2013	€11,079,810	€11,079,810	0.00%
2012	€11,741,344	€11,740,987	0.00%
2011	€11,638,865	€11,638,865	0.00%

TABLE 8 – Tableau des écarts des montants de prestation par année pour le risque DCTC

Jusqu'à 2019 les écarts sont inférieurs à 5% ce qui permet de valider les montants de prestation de la base historique. En 2020 l'écart de 56% est dû à un écart entre les dates d'extraction des deux bases comparées.

Ci-dessous le tableau présente les écarts en montants de prestation pour le Décès accidentel (DCAC) entre la base historique et la base comptable des sinistres DCAC.

Année	Base solvency DCAC	Base solvency garantie accessoire DCAC	Total base comptable	Total base solvency	Ecart
2020	€240,000	€270,000	€510,000	€1,307,218	61.00%
2019	€1,074,185	€974,066	€2,048,251	€1,699,344	-21.00%
2018	€957,522	€708,245	€1,665,767	€1,528,329	-9.00%
2017	€1,254,026	€825,000	€2,079,026	€2,423,668	14.00%
2016	€804,047	€567,622	€1,371,669	€1,432,029	4.00%
2015	€1,791,494	€693,449	€2,484,943	€2,584,943	4.00%
2014	€1,524,648	€559,490	€2,084,138	€2,053,648	-1.00%
2013	€1,269,781	€649,049	€1,918,830	€1,900,781	-1.00%
2012	€1,543,117	€371,770	€1,914,887	€1,898,117	-1.00%
2011	€1,632,752	€396,235	€2,028,986	€1,952,752	-4.00%

Table 9 – Tableau des écarts des montants de prestation par année pour le risque DCAC

Jusqu'à 2016 les écarts sont inférieurs à 5% ce qui permet de valider la fiabilité des montants de prestation de la base historique sur ce périmètre. Depuis 2016, les écarts sont importants en témoignage de l'étalement des règlements sur une durée de 3 ans, et en 2020 l'écart est dû au différentes dates d'extraction des bases *solvency* et comptable.

Ci-dessous le tableau présente les écarts en montants de prestations pour le risque Arrêt de Travail (AT) entre la base historique et la base comptable des sinistres AT.

Année	Total base comptable	Total base solvency	Ecart
2020	€1,019,690	€1,795,559	43.00%
2019	€2,082,670	€2,152,314	3.00%
2018	€2,616,945	€2,578,588	-1.00%
2017	€2,692,297	€2,684,608	0.00%
2016	€2,526,662	€2,502,741	-1.00%
2015	€2,903,922	€2,854,309	-2.00%
2014	€3,287,843	€3,252,087	-1.00%
2013	€3,067,812	€3,035,276	-1.00%
2012	€2,774,606	€2,681,590	-3.00%
2011	€2,349,302	€2,396,390	2.00%

Table 10 – Tableau des écarts des montants de prestation par année pour le risque AT

Jusqu'à 2019 les écarts sont inférieurs à 5% en valeur absolue ce qui permet de valider les montants de prestation de la base historique en AT. En 2020, l'écart de 43% est dû à un écart entre les dates d'extraction des deux bases comparées.

2.2.3 Contrôles des montants garantis

Les écarts sont calculés entre les chiffres de la base *solvency* et les chiffres comptables du portefeuille en gestion centralisé (parfois noté *"ptf gc"*) comme suit :

$$\sum(CSR_{solvency} - CSR_{comptable}) / \sum(CSR_{comptable})$$

Où $CSR_{solvency}$ désigne les capitaux sous risque de la base historique *solvency*.

Et $CSR_{comptable}$ désigne les capitaux sous risque de la base portefeuille comptable.

Ci-dessous sont présentés les sommes totales des capitaux sous risque par réseau et par risque du périmètre DCAT en 2020, et leurs écarts avec la source comptable :

Réseau	Risque	Montants garantis solvency	Montants garantis ptf gc	Ecart entre les montants garantis solvency et ptf gc
BP	DCAC	€31,063,961,018	€31,016,684,316	0.15%
BP	DCTC	€17,070,678,158	€17,062,647,087	0.05%
BP	AT	€79,111,583	€78,110,430	1.28%
CE	DCAC	€8,588,060,318	€8,584,448,654	0.04%
CE	DCTC	€14,258,909,001	€14,255,397,044	0.02%
CE	AT	€22,570,352	€22,547,993	0.10%

Table 11 – Tableau des écarts des montants garantis 2020 - périmètre DCAT

Les écarts entre les montants garantis des contrats DCAT en cours en 2020 sont tous inférieurs à 5% en valeur absolue et permettent donc de valider les montants garantis des données *solvency* sur le périmètre DCAT.

Ci-dessous sont présentés les sommes totales des plafonds d'indemnisation (faute d'avoir des capitaux sous risques) par réseau et par risque du périmètre MAV en 2020, et leurs écarts avec la source comptable :

Réseau	Risque	Montants garantis solvency	Montants garantis ptf gc	Ecart entre les montants garantis solvency et ptf gc
BP	IPP MAV	€305,183,160,000	€305,194,860,000	-0.00%
BP	Décès MAV	€230,386,860,000	€230,396,580,000	-0.00%

Table 12 – Tableau des écarts des montants garantis 2020 - périmètre MAV

Les écarts entre les plafonds d'indemnisation des contrats MAV en cours en 2020 sont tous inférieurs à 5% en valeur absolue et permettent donc de valider les montants garantis maximaux des données *solvency* sur le périmètre MAV.

En 2019, les résultats sont les mêmes, tous les écarts entre les capitaux sous risques des contrats en cours sont suffisamment faibles ($< 5\%$ en valeur absolue) pour être validés.

2.2.4 Contrôles des montants de primes hors taxes

Les écarts sont calculés entre les chiffres de la base *solvency* et les chiffres comptables du portefeuille en gestion centralisé comme suit :

$$\sum(PrimeHT_{solvency} - PrimeHT_{comptable}) / \sum(PrimeHT_{comptable})$$

Ci-dessous sont présentées les sommes totales des primes annuelles hors taxes par réseau et par risque du périmètre DCAT en 2020, et leurs écarts avec la source comptable :

Les périmètres pour lesquels les écarts en montant de prime annuelle HT sont inférieurs à 5% permettent de valider les primes de la base *solvency*.

Réseau	Risque	Montants de prime ht annuelle solvency	Montants de prime ht annuelle ptf gc	Ecart entre les montants de prime annuelle solvency et ptf gc
BP	DCAC	€11,284,865	€11,175,556	0.98%
BP	DCTC	€40,237,329	€37,439,086	7.47%
BP	AT	€3,358,755	€3,287,970	2.15%
CE	DCAC	€806,096	€827,937	-2.64%
CE	DCTC	€20,208,604	€19,666,562	2.76%
CE	AT	€549,692	€565,421	-2.78%

TABLE 13 – Tableau des écarts des montants de primes annuelles HT 2020 - périmètre DCAT

Sur le périmètre DCTC les montants de primes annuelles *solvency* sont HT car il n'y a pas de taxe sur ce périmètre, mais les écarts avec la base comptable sont supérieurs à 5%. En effet, la base *ptf gc* est extraite en decembre 2020 **avant la revalorisation des primes**, et la base *solvency* est extraite en mars 2021 donc elle prend en compte le changement tarifaire de fin 2020.

Ci-dessous sont présentées les sommes totales des capitaux sous risque par réseau et par risque du périmètre MAV en 2020, et leurs écarts avec la source comptable :

Réseau	Risque	Montants de prime ht annuelle solvency	Montants de prime ht annuelle ptf gc	Ecart entre les montants de prime annuelle solvency et ptf gc
BP	IPP MAV	€7,723,405	€7,700,188	0.30%
BP	Décès MAV	€2,490,362	€2,485,289	0.20%

TABLE 14 – Tableau des écarts des montants de primes annuelles HT 2020 - périmètre MAV

Sur le périmètre MAV, les écarts en montants de prime annuelle hors taxe sont inférieurs à 5% en valeur absolue ce qui permet de valider les primes de la base *solvency*.

2.2.5 Conclusion QDD

La base historique *solvency-ATPI* extraite au T1 2021 à la maille client, contrat et garantie est une base valide et fiable pour mener les études sur le nouveau plan de réassurance 2021. En effet, les contrôles de cohérence avec d'autres sources de données permettent de confirmer que cette base comporte le bon nombre de clients et de contrats en cours, que les montants garantis et les montants de primes annuelles hors taxes sont corrects, et qu'enfin les montants de prestations sont également validés comptablement.

Les études seront donc menées à partir de cette base de données, dans le cadre de ce mémoire.

2.3 Statistiques descriptives périmètre de risque DCAT

Avant d'étudier le nouveau plan de réassurance il est important de faire un état des lieux des caractéristiques du portefeuille PI à l'aide de différentes statistiques qui pourront décrire les données sur des axes pertinents pour ce mémoire.

2.3.1. Distribution des états des contrats

Cette partie vise à déterminer si l'exposition en portefeuille DCAT est suffisante pour mener des études a priori à partir des données de la base *solvency-ATPI*.

Ci-dessous le tableau présentant la distribution des états des contrats du périmètre de risque DCAT, dans une fenêtre d'observation allant du 01/01/2016 au 31/12/2020.

libelle_etat	Poids
Actif	74.17%
Autre	1.26%
Résilié	23.97%
Décès	0.60%

Table 15 – Distribution des états des contrats du périmètre DCAT entre 2016 et 2020

La variable "libelle_etat" donne les différents états des contrats. Les contrats en cours sont prépondérants dans le portefeuille historique, ensuite viennent les contrats résiliés et en dernier les contrats dont l'assuré est décédé avec un poids très faible dans le portefeuille.

Ci-dessous l'histogramme présente la distribution des états des contrats prédominants dans le portefeuille entre 2016 et 2020.

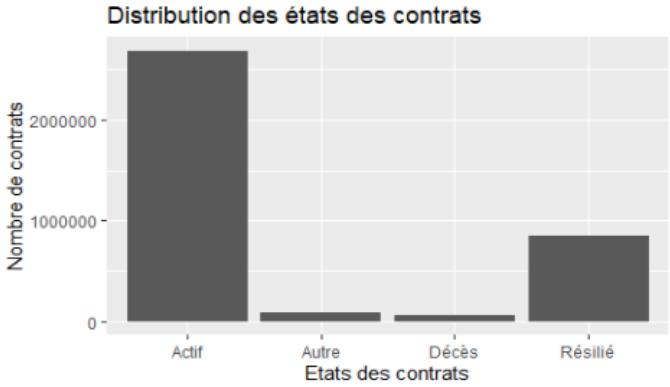

Figure 11 – Graphique de distribution des états des contrats du périmètre DCAT entre 2016 et 2020

Le nombre de contrats en cours dans le portefeuille DCAT de la PI semble suffisant pour effectuer des modélisations a priori des charges de sinistre pour l'année 2021.

2.3.2. Evolution du nombre de contrats

Ci-dessous le graphique présente l'évolution du nombre de contrats par année de souscription et par réseau :

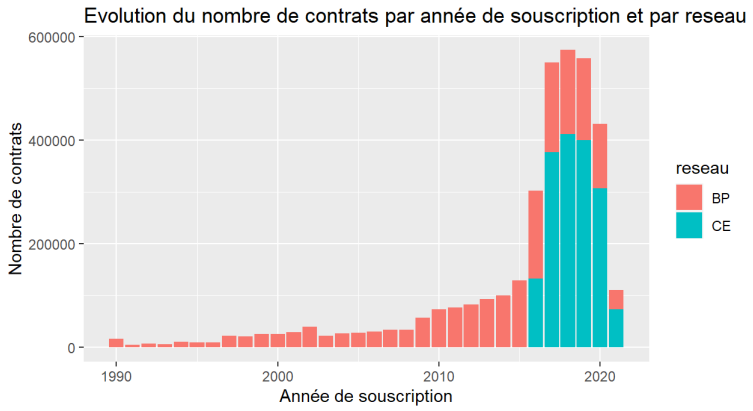

FIGURE 12 – Distribution du nombre de contrats du périmètre DCAT par réseau

La tendance du nombre de contrats comptés à la maille contrats et garanties est croissante, on peut voir que les contrats d'assurance des Caisses d'Epargne sont récents, en effet les premiers contrats CE sont apparus en 2016. Par ailleurs il y a une baisse des souscriptions de contrat en 2020, celle-ci peut être dûe à la pandémie Covid 19.

Le graphique ci-dessous présente l'évolution du nombre de contrats par année de souscription et par risque du périmètre DCAT :

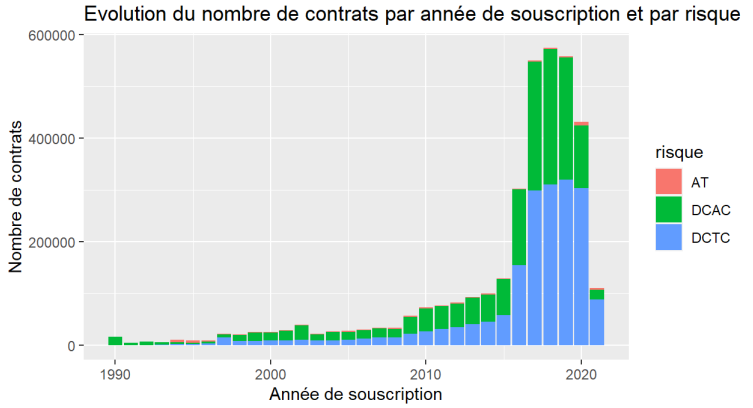

FIGURE 13 – Distribution du nombre de contrats du périmètre DCAT par risque

Dans ce graphique il apparaît clairement que les risques prépondérants en portefeuille PI sont le Décès toutes causes et le Décès accidentel.

2.3.3. Montants de primes annuelles hors taxes

En échange de la couverture des sinistres de pointe, l'assureur va céder une partie de ses primes au réassureur. Il est donc intéressant d'analyser la distribution des montants de primes annuelles hors taxes du portefeuille à réassurer.

Ci-dessous le tableau présente les montants de primes annuelles HT totales en cours dans les 5 dernières années, ainsi que la prime minimum, moyenne et maximum par contrat du périmètre DCAT :

Année	Nombre de contrats en cours	Montant de prime moyen	Prime annuelle minimum	Prime annuelle maximum
2020	2423264	€29.95	€2.01	€23,345.80
2019	2227773	€31.11	€2.05	€33,370.26
2018	1893708	€34.56	€2.06	€33,370.26
2017	1497447	€40.34	€3.09	€33,370.26
2016	1075091	€50.04	€1.08	€33,370.26

Table 16 – Distribution des primes du périmètre DCAT dans les 5 dernières années

Ce tableau permet d'avoir une vue d'ensemble générale sur tout le périmètre DCAT depuis 2016, il y a une évolution croissante du nombre total de contrats en cours mais un montant moyen de prime par contrat décroissant depuis 2016. Il y a également une grande étendue des montants de prime annuelle entre le minimum et le maximum.

Pour plus de finesse dans l'analyse des primes annuelles, un graphique de distribution des montants de primes annuelles hors taxe aurait été appréciable, cependant la queue de distribution des montants de primes est très longue et extrêmement aplatie, ce qui ne permet pas de visualiser correctement toute la distribution graphiquement. Néanmoins, il est tout a fait possible de regarder le poids des primes totales en cours par risque dans le portefeuille DCAT.

Ci-dessous le graphique présente les poids des primes annuelles hors taxes par risque et par année au sein du portefeuille DCAT.

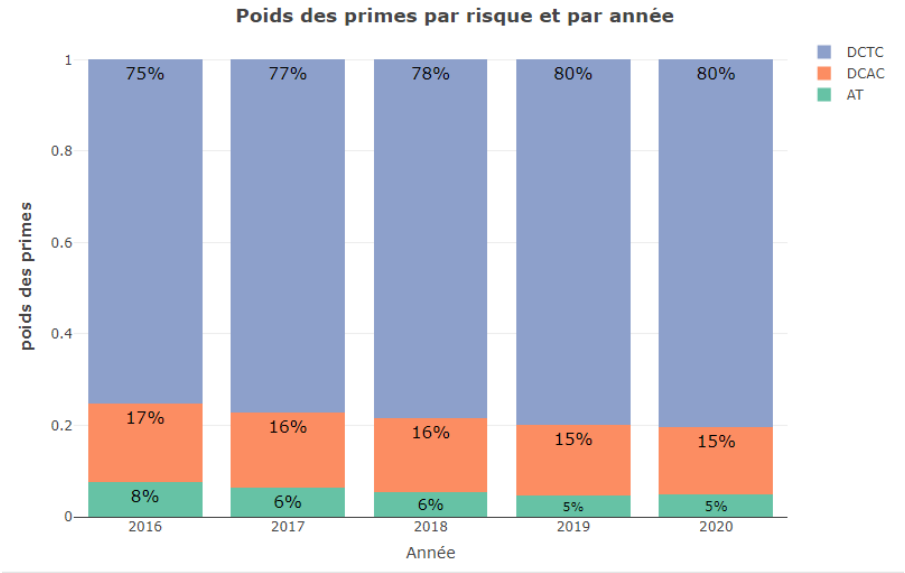

Figure 14 – Poids des primes par risque et par année

Il y a une certaine stabilité du poids des primes de chaque périmètre au cours des cinq dernières années et le poids des primes annuelles DCTC est le plus élevé dans le portefeuille DCAT.

2.3.4. Montants garantis

En prévoyance et pour le périmètre DCAT, les montants réglés des sinistres correspondent aux montants garantis prévus dans les contrats aussi appelés CSR. Ces montants garantis sont donc des potentielles charges futures dont une partie sera cédée au réassureur. Une rapide analyse des distributions de ces capitaux sous risque peut donner une première idée du profil de risque de l'entreprise.

Ci-dessous le tableau présente les montants garantis totaux en cours dans les 5 dernières années, ainsi que le montant garanti minimum, moyen et maximum par contrat du périmètre DCAT :

Année	Nombre de contrats en cours	Montant garanti moyen	Montant garanti minimum	Montant garanti maximum
2020	2423264	€20,516.66	€15.00	€4,500,000.00
2019	2227773	€20,169.46	€15.00	€4,500,000.00
2018	1893708	€20,384.66	€100.00	€4,500,000.00
2017	1497447	€21,193.59	€100.00	€4,500,000.00
2016	1075091	€22,480.17	€152.45	€4,050,000.00

Table 17 – Distribution des montants garantis du périmètre DCAT dans les 5 dernières années

Il y a une immense étendue entre le montant garanti minimum et maximum, et de même que pour les statistiques des primes, les résultats peuvent être affinés par périmètre de risque, ce qui permettra de connaître quel périmètre est prépondérant en termes de capitaux sous risque. Le diagramme bâton ci-dessous, aussi appelé *barplot*, présente le poids des montants garantis totaux en cours dans les 5 dernières années par risque :

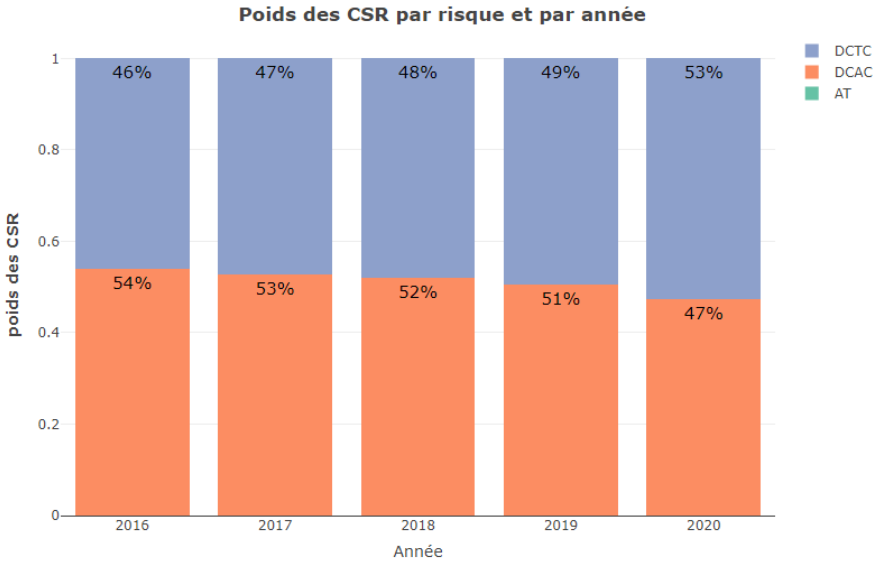

Table 18 – Distribution des montants garantis du périmètre DCAT dans les 5 dernières années

L'AT est un périmètre dont le poids des primes et des montants garantis est faible en portefeuille. Mais il faut savoir que les montants garantis en AT sont mensuels, il faut donc prendre en compte la durée en incapacité qui n'est pas connue à l'avance pour les assurés valides. Concernant les autres périmètres de risque du DCAT, Le poids des capitaux sous risque est équiréparti entre les périmètres DCTC et DCAC bien que le poids des primes soit prépondérant pour le périmètre DCTC. L'analyse des prestations effectivement payées par le passé pourront compléter cette constatation.

2.3.5. Montants de prestation

Ce sont sur ces montants de sinistres passés que le plan de réassurance actuel sera évalué a posteriori.

Voici donc un graphique présentant les distributions des montants de prestation par risque dans les 5 dernières années pour le périmètre DCAT, sous forme de boites à moustaches :

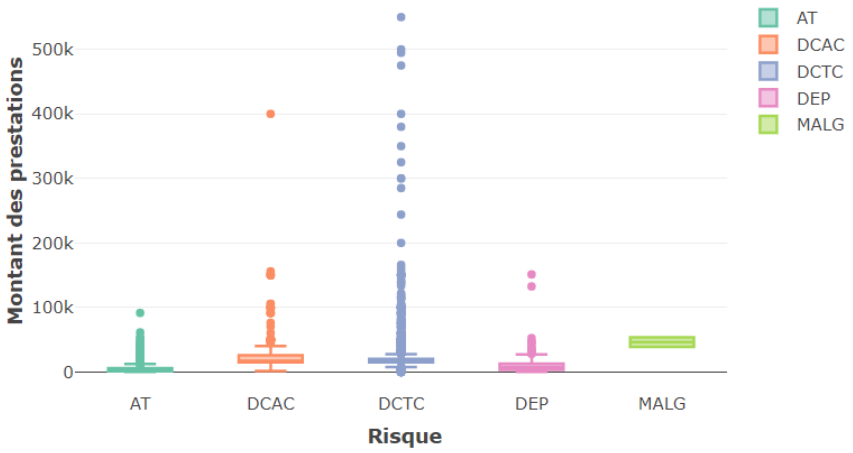

FIGURE 15 – Distribution des montants de prestation du périmètre DCAT dans les 5 dernières années

Visuellement, l'étendue des prestations payées en Décès toutes causes est bien plus grande que pour le DCAC et l'AT.

Le tableau ci-dessous présente la distribution des prestations par risque du périmètre DCAT en 2020 :

Risque	Année	Montant de prestation min	Montant de prestation max	Poids des prestations
DCTC	2020	€3.46	€500,000.00	80.06%
DCAC	2020	€1,524.50	€155,948.38	8.36%
AT	2020	€96.42	€45,130.55	10.50%
DEP	2020	€708.43	€10,899.05	1.08%

TABLE 19 – Distribution des prestations du périmètre DCAT en 2020

Et ci-dessous le tableau présente la distribution des prestations par risque du périmètre DCAT en 2019 :

Risque	Année	Montant de prestation min	Montant de prestation max	Poids des prestations
DCTC	2019	€30.03	€550,000.00	79.53%
DCAC	2019	€1,500.00	€100,000.00	9.01%
AT	2019	€48.01	€42,464.05	9.67%
DEP	2019	€2,573.44	€29,969.18	1.80%

TABLE 20 – Distribution des prestations du périmètre DCAT en 2019

Il y a une stabilité dans le poids des prestations par risque dans les deux dernières années qui mettent clairement en avant l'importance des prestations DCTC par rapport aux autres risques du périmètre

DCAT. Bien que le poids des capitaux sous risques DCTC et DCAC se valent, il s'avère par le passé que c'est le risque DCTC qui a coûté le plus cher en termes de sinistres survenus. Cela fait sens car le décès accidentel est un événement au caractère beaucoup plus rare que le décès toutes causes.

2.3.6. Cumuls de garanties

A présent une rapide analyse des cumuls de garanties par tête au sein du portefeuille DCAT va être présentée. Cela va permettre de justifier l'évolution du plan de réassurance qui consiste à couvrir les cumuls de sinistres par tête et par périmètre (Section A du nouveau plan).

Le graphique illustre, ci-dessous, les cumuls de garanties par tête dans les 5 dernières années pour le périmètre DCTC :

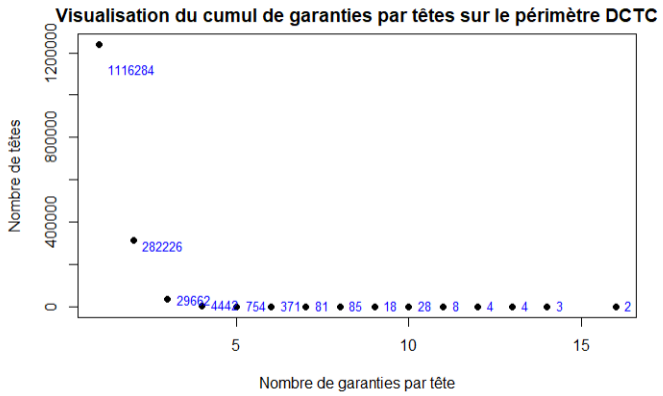

FIGURE 16 – Graphique représentatif des cumuls de garanties par tête sur le périmètre DCTC

Au sein du périmètre décès toutes causes, il y a un nombre non négligeable de cumuls de garanties sur une même tête, il y a notamment deux têtes assurées cumulant 16 garanties DCTC chacune. Cela a été contrôlé directement dans la base **solvency** à partir du numéro de ces clients. Par exemple un des deux clients a souscrit 11 contrats différents comprenant chacun entre une et quatre garanties différentes. Parmi ces multiples garanties il y a du Décès PTIA et de la Maladie redoutée, les montants garantis vont de 3 000€ à 50 000€ pour un total de 237 500€.

Ci-dessous le graphique présente les cumuls de garanties par tête dans les 5 dernières années pour le périmètre DCAC :

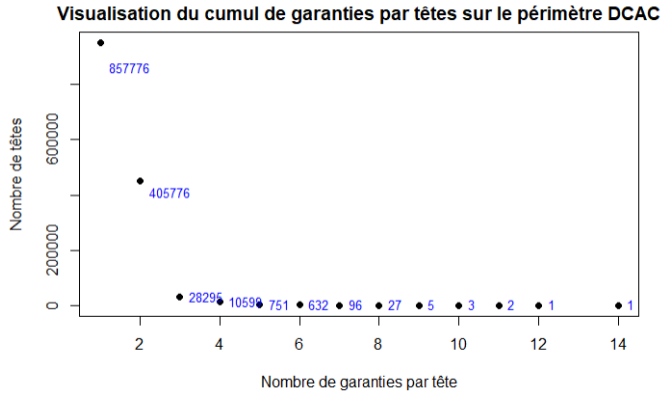

FIGURE 17 – Graphique représentatif des cumuls de garanties par tête sur le périmètre DCAC

Une tête cumule 14 garanties de décès accidentel, et un nombre non négligeable d'assurés cumulent au moins deux garanties DCAC.

Ci-dessous le graphique présente les cumuls de garanties par tête dans les 5 dernières années pour le périmètre AT :

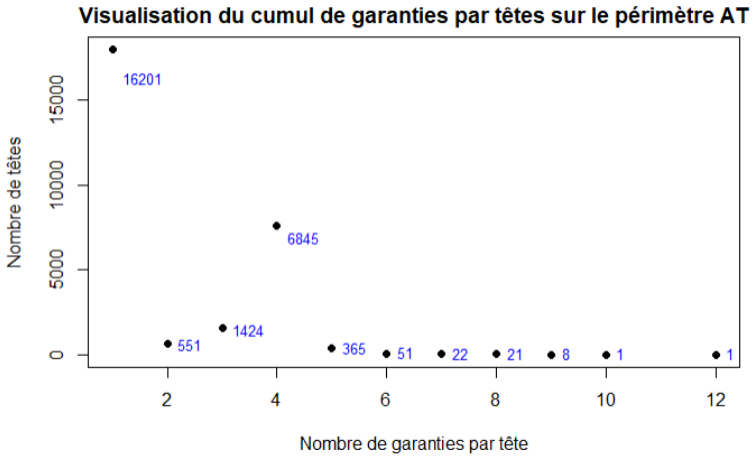

FIGURE 18 – Graphique représentatif des cumuls de garanties par tête sur le périmètre AT

Une tête cumule 12 garanties d'Arrêt de travail, et de même un nombre non négligeable d'assurés cumulent au moins deux garanties AT.

Ces trois graphes permettent de justifier l'intérêt de la section A du nouveau plan de réassurance 2021, qui consiste en un XS Tête par périmètre de risque.

En effet, en parallèle de la couverture QP, un XS tête par périmètre sur les risques Décès Toutes Causes, Décès accidentel et Arrêt de travail, permet d'écrêter une première fois les sinistres de pointe par périmètre ainsi que les sinistres cumulés au sein de chaque périmètre.

Par exemple en DCTC un client possède un cumul de 16 garanties, si cette personne décède, il y a de fortes chances que le cumul de ses garanties décès excède la priorité de l'XS tête qui est de 100 000€.

Ci-dessous le tableau présente les cumuls de garanties par tête dans les 5 dernières années pour tout le périmètre DCAT, c'est à dire au cumul des garanties DCTC, DCAC, et AT :

Nombre de garanties par tête	Nombre de têtes
1	574289
2	378391
3	776135
4	148680
5+	52572

TABLE 21 – Tableau récapitulatif des cumuls de garanties par tête sur le périmètre DCAT

Il y a un nombre non négligeable de cumuls au sein du périmètre de risque DCAT, qui peut justifier la nouvelle couverture XS tête sur rétention en réassurance (section B). D'ailleurs, un client dans le portefeuille DCAT cumule 36 garanties à travers les contrats qu'il a souscrit, comme le montre le graphique ci-dessous :

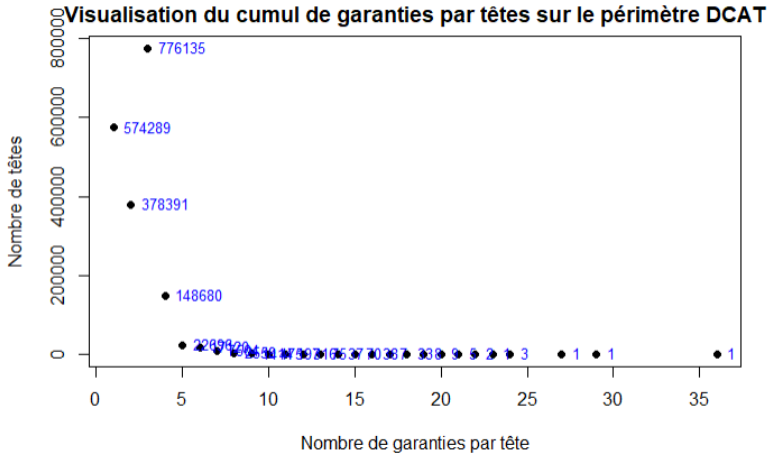

FIGURE 19 – Graphique représentatif des cumuls de garanties par tête sur le périmètre DCAT

Il y a plus de clients qui cumulent au moins 3 garanties que de clients qui n'en ont qu'une. Il est naturel de se demander si les QP par risque et les XS Tête par risque seront suffisants pour couvrir les sinistres extrêmes ou si un XS tête sur rétention au cumul de tous les risques est nécessaire.

2.4 Statistiques descriptives périmètre de risque MAV

2.4.1. Distribution des états des contrats

De la même manière que pour le périmètre DCAT, il faut se demander si le périmètre MAV offre une exposition suffisante pour mener plus tard des études a priori du plan de réassurance 2021 par simulations de la charge de sinistres.

Le tableau ci dessus donne les poids des états des contrats du périmètre de risque MAV, dans une fenêtre d'observation allant du 01/01/2016 au 31/12/2020.

lib_etat	Poids
Clôturé	27.67%
Décédé	1.21%
Actif	71.11%
Réduit	0.00%

Table 22 – Distribution des états des contrats du périmètre MAV entre 2016 et 2020

La variable lib_etat désigne l'état des contrats.

Ci-dessous l'histogramme présente la distribution des états des contrats dans le portefeuille entre 2016 et 2020.

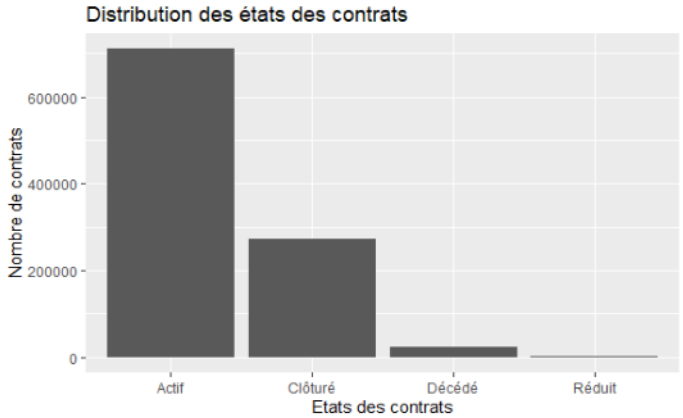

Figure 20 – Graphique de distribution des états des contrats du périmètre MAV entre 2016 et 2020

Il semblerait que l'exposition des contrats MAV est assez forte pour modéliser la charge de sinistre future sur ce périmètre.

2.4.2. Evolution du nombre de contrats

Il n'y a pas de graphique présentant l'évolution du nombre de contrats par année de souscription et par réseau car le risque MAV n'appartient qu'au réseau des Banques Populaires.

Ci-dessous le graphique présente l'évolution du nombre de contrats par année de souscription et par risque du périmètre MAV, en faisant la distinction entre les garanties décès et IPP :

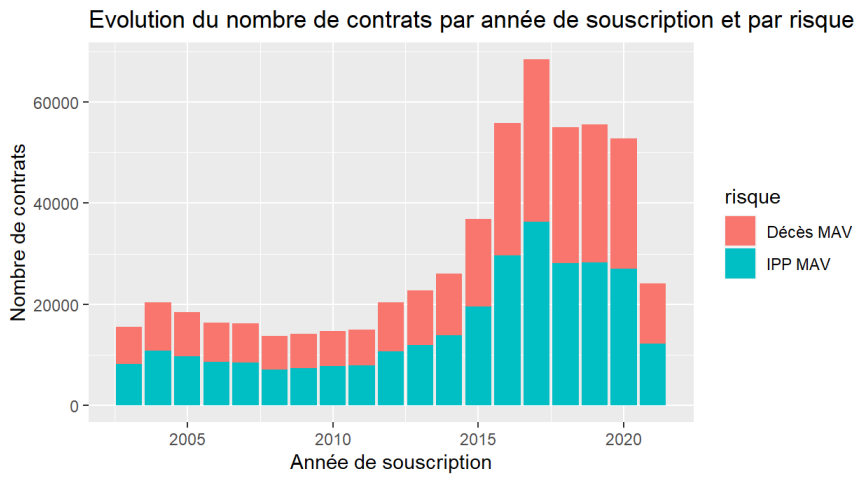

FIGURE 21 – Distribution du nombre de contrats du périmètre MAV par risque

Le risque MAV paraît équiréparti entre le décès et l'IPP et il y a une tendance plutôt croissante du nombre de contrats souscrits.

2.4.3. Montants de primes annuelles

Pour les mêmes raisons que pour le périmètre DCAT, les montants totaux des primes annuelles hors taxes, la prime minimum, moyenne et maximum sur le périmètre MAV sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Année	Nombre de contrats en cours	Montant de prime moyen	Prime annuelle minimum	Prime annuelle maximum
2020	368045	€24.24	€2.06	€186.36
2019	349302	€22.70	€1.92	€186.36
2018	329262	€20.22	€1.01	€186.36
2017	305964	€17.21	€0.96	€93.18
2016	264835	€16.93	€0.96	€61.44

FIGURE 22 – Distribution des primes annuelles du périmètre MAV des 5 dernières années

Ce tableau permet d'avoir une vue d'ensemble générale sur le périmètre MAV depuis 2016, il y a une évolution croissante du nombre total de contrats en cours et du montant moyen de prime par contrat.

Sur ce périmètre il y a une QP avec un taux de cession assez élevé de 65%, cela signifie qu'une grande partie des primes sera cédée au réassureur. Comme la distribution des primes annuelles MAV est beaucoup moins étendue que la distribution des primes DCAT, un graphique peut illustrer la densité des montants de primes 2020. Il se situe en **annexe A**.

2.4.4. Montants garantis

Le produit MAV est un contrat de prévoyance à caractère indemnitaire, les montants garantis renseignés dans la base sont des plafonds maximaux d'indemnisation, ils ne correspondent pas aux montants qui seront effectivement réglés en cas de sinistre.

Le montant de l'indemnité est plafonné à :

- 1 million d'euros par victime assurée et par événement pour la version "client"

- 1,2 million d'euros par victime assurée et par événement pour la version "sociétaire" c'est à dire actionnaire Banques Populaires ou Crédit Maritime

Cela ne fait pas sens d'étudier la distribution des plafonds de montants garantis.

2.4.5. Montants de prestation

Pour connaître les montants de prestation réglés dans le passé il faut utiliser la base comptable des sinistres MAV car ils ne sont pas renseignés dans la base portefeuille historique *solvency*. Les montants de prestation MAV sont étudiés sur une fenêtre allant de la création du produit jusqu'au 31/12/2020 car ce périmètre de risque a pour spécificité un étalement des règlements des sinistres pouvant aller jusqu'à 10 ans. (En effet la cadence des règlements a été calculée grâce à la méthode Chain Ladder et celle-ci atteint 100% qu'au bout de 10 ans. (Voir **annexe B** pour plus de détails sur la méthode Chain Ladder). Ainsi, se restreindre à une fenêtre sur les 5 dernières années uniquement ne permet pas de capter tous les montants réglés à l'ultime.

Voici un diagramme sous forme de boîtes à moustaches, aussi appelé *boxplot*, par risque pour décrire les montants de prestations passées MAV :

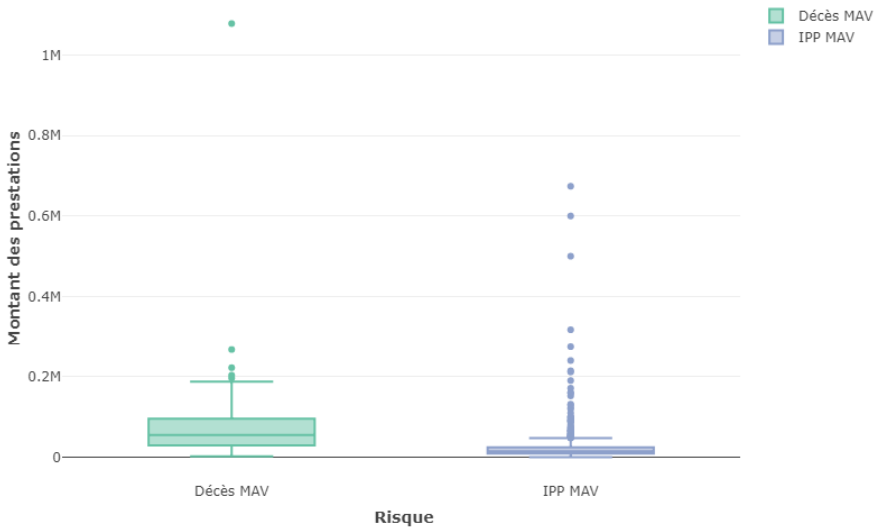

FIGURE 23 – Distribution des prestations passées MAV

Il y a plusieurs valeurs extrêmes pour chaque risque, chaque point ne rentrant pas dans la boîte à moustaches en est une : notamment un règlement de sinistre Décès MAV s'est élevé à plus d'1 million d'euros par le passé, et trois sinistres IPP MAV ont dépassé les 400 000€. Ce périmètre a donc déjà présenté des sinistres de pointe par le passé et nécessite donc d'être correctement réassuré.

2.4.6. Cumuls de garanties

Le cumul des garanties au sein du périmètre MAV n'a pas beaucoup d'intérêt pour justifier l'existence de la section A car il n'y a pas d'XS tête sur ce périmètre seul, cependant ce périmètre entre dans l'XS tête sur rétention au titre du cumul entre les différents périmètres de risque DCAT et MAV.

Comme le montre le graphique ci-dessous, plus de la moitié des têtes assurées ont au moins 2 garanties, et un assuré possède 14 garanties MAV. Si cette personne subit un sinistre MAV le cumul des montants de ses 14 garanties peut probablement dépasser la priorité de l'XS Tête de la section B. Toutefois la QP, étant très élevée sur ce périmètre, peut déjà absorber une grande partie du montant du sinistre.

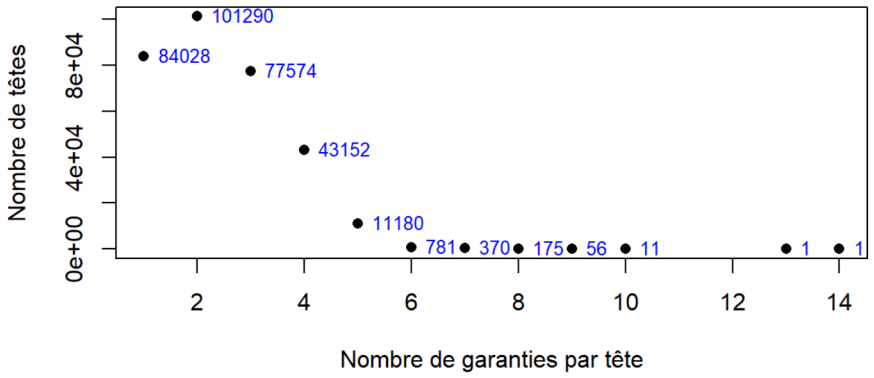

FIGURE 24 – Distribution du nombre de cumuls par têtes au sein du périmètre MAV

2.5 Statistiques descriptives périmètre de risque DCAT et MAV

Dans cette partie l'intérêt se porte sur tout le périmètre PI qui se réassure, c'est à dire comprenant les risques DCTC, DCAC, AT et MAV. La fenêtre d'observation représente les 5 dernières années allant du 01/01/2016 au 31/12/2020. Cette partie a pour but de mettre en avant l'importance des cumuls des différents risques par tête assurée.

Effectivement, la particularité du nouveau programme de réassurance est de couvrir les cumuls de sinistres par tête, cette partie sert donc à rendre compte de la pertinence de cette nouvelle couverture, en faisant un état des lieux des données du portefeuille PI de Natixis Assurances.

Cumuls de risques

Pour avoir une idée du poids des cumuls de risques par tête au sein de tout le portefeuille prévoyance individuelle, ci-dessous est présenté un tableau récapitulatif des cumuls de risques possibles ainsi que leur poids au sein du portefeuille (en nombre de tête).

Cumuls	Poids
DCAC	36.847%
DCAC + DCTC	29.885%
MAV	15.596%
DCTC	12.363%
DCTC + DCAC + MAV	2.000%
AT	1.068%
DCAC + MAV	0.713%
DCTC + MAV	0.658%
AT + DCTC	0.529%
DCTC+ DCAC + AT	0.175%
AT + DCAC	0.072%
DCAC + DCTC + AT + MAV	0.047%
DCTC + AT + MAV	0.022%
AT + MAV	0.018%
DCAC + AT + MAV	0.008%

TABLE 23 – Poids des cumuls par risques au sein du portefeuille PI

Dans ce tableau il ressort que le périmètre de risque décès accidentel seul représente environ 37%

des têtes assurées en PI dans les 5 dernières années, ce qui fait de lui le périmètre prépondérant au sein du portefeuille, avec environ 1 780 000 individus couverts uniquement contre le risque DCAC.

Ensuite le cumul des risques décès accidentel et décès toutes causes représente environ 30% des têtes assurées en PI dans les 5 dernières années, il est donc le cumul de risques le plus fréquent, avec environ 1 450 000 individus. Les autres cumuls sont relativement peu représentés dans le portefeuille dans les 5 dernières années avec des poids inférieurs à 2%.

Enfin, le cumul de risque le plus rare en PI dans les 5 dernières années est le cumul des risques Décès accidentel, Arrêt de travail et Multirisques accidents de la vie, représentant seulement 0.008% de toutes les têtes assurées, soit environ 380 individus.

- Nombre approximatif de têtes ayant un cumul de plusieurs risques : 1 600 000

- Nombre approximatif de têtes couvertes contre un seul risque : 3 200 000

- Nombre approximatif de têtes au total : 4 800 000

Les têtes cumulant au moins deux risques différents représentent environ 1 600 000/4 800 000 $= 33,33\%$ de tout le portefeuille PI dans les 5 dernières années, soit un tiers de tout le portefeuille PI.

Ci-dessous le diagramme présente les poids de chaque cumul de risque dans le portefeuille de manière plus visuelle :

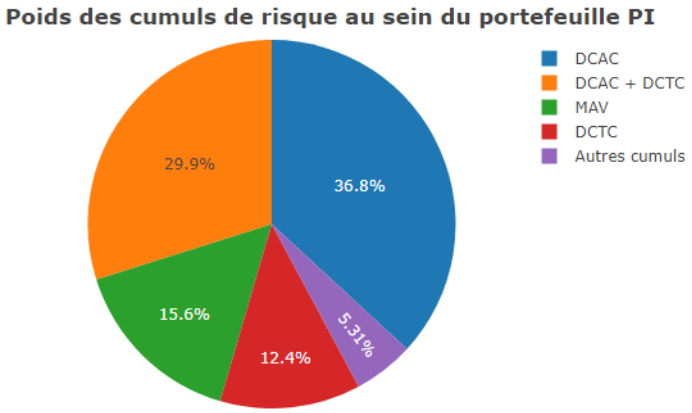

FIGURE 25 – Poids des cumuls par risques au sein du portefeuille PI

Les périmètres de risque DCAC, MAV, DCTC et le cumul des risques DCAC et DCTC recouvrent la majeure partie du diagramme ci-dessus. Il pourrait être intéressant de ne considérer plus que les cumuls de plusieurs risques entre eux.

Importance des cumuls de risques entre eux

Afin de préciser l'ordre d'importance des cumuls de plusieurs risques, ci-dessous sont présentés un tableau récapitulatif des cumuls de plusieurs risques possibles ainsi que leur poids au sein du portefeuille (en nombre de tête) et un diagramme permettant de visualiser cela.

Cumuls	Poids
DCAC + DCTC	87.571%
DCTC + DCAC + MAV	5.859%
DCAC + MAV	2.090%
DCTC + MAV	1.927%
AT + DCTC	1.549%
DCTC+ DCAC + AT	0.512%
AT + DCAC	0.211%
DCAC + DCTC + AT + MAV	0.138%
DCTC + AT + MAV	0.065%
AT + MAV	0.054%
DCAC + AT + MAV	0.023%

TABLE 24 – Poids des cumuls de risques parmi les cumuls possibles

Dans ce tableau le cumul des risques décès accidentel et décès toutes causes représente environ 88% des têtes assurées en PI ayant un cumul, c'est donc, de loin, le cumul de risques le plus important. Les autres cumuls sont relativement peu représentés dans le portefeuille des cumuls avec des poids tous inférieurs à 6%. Enfin, le cumul de risque le plus rare en PI dans les 5 dernières années reste le cumul des risques Décès accidentel, Arrêt de travail et Multirisques accidents de la vie, représentant seulement 0.023% de toutes les têtes assurées présentant un cumul sur plusieurs risques.

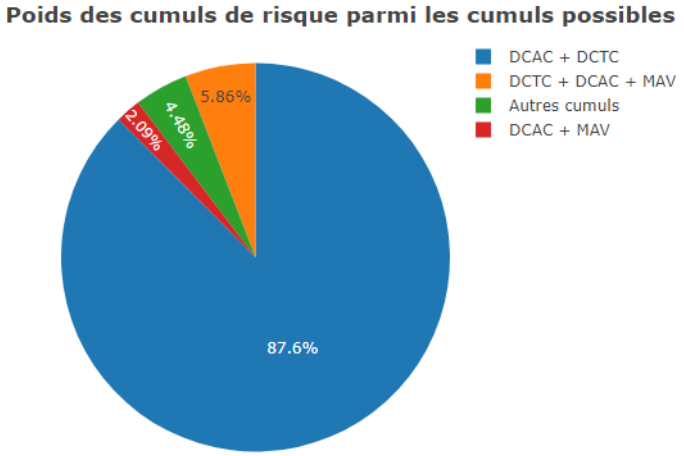

FIGURE 26 – Poids des cumuls de risques parmi les cumuls possibles

Visuellement le cumul des risques DCAC et DCTC recouvre la majeure partie du diagramme ci-dessus.

Conclusion :

Une étude des poids des cumuls de risques en termes de capitaux sous risques n'est pas possible à ce stade car le périmètre MAV fausserait les résultats avec ses montants garantis tous renseignés à 1 ou 1.2 million d'euros. Néanmoins, l'analyse des poids des cumuls au sein du portefeuille PI en termes de nombre de têtes assurées permet déjà de justifier l'intérêt de la nouvelle couverture XS tête sur rétention car en ayant environ 1/3 du portefeuille de clients possédant un cumul de plusieurs risques, il est réaliste de penser que la section B puisse se déclencher.

3 Chapitre 3 - Etude du plan de réassurance a posteriori

La motivation de cette étude réside dans le caractère certain des données d'expérience. Etant donné que les montants de sinistres passés sont déterminés, une application du plan de réassurance 2021 sur cette sinistralité passée permettrait déjà de donner une idée sur l'efficacité du plan de réassurance.

Les études a posteriori se feront d'abord par périmètre de risque afin de tenir compte des spécificités de chaque risque, puis, pour évaluer l'efficacité de la section B et du plan de réassurance dans son entièreté tous les montants de sinistres restant à charge de l'assureur seront cumulés par tête.

Les bases comptables qui fournissent un historique des sinistres par risque seront utilisées dans cette partie pour évaluer les charges cédées à la réassurance, et la base portefeuille historique *solvency-ATPI* sera utilisée dans cette partie pour le calcul des primes cédées et conservées.

Les périmètres présentés :

Voici un diagramme décrivant le poids des règlements de sinistres comptables par risque sur toute l'expérience passée :

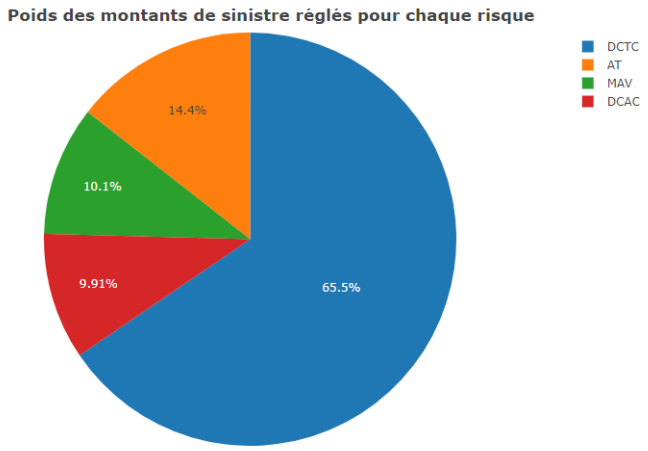

FIGURE 27 – Poids des règlements comptables des sinistres par risque

Ce sont ces quatres groupes de risques qui feront l'objet des études a posteriori du nouveau plan de réassurance. Comme le périmètre de risque décès toutes causes est celui qui a pesé le plus lourd en coût de sinistres par le passé. Ce mémoire accordera donc une attention toute particulière à ce risque par la suite.

3.1 Analyse des charges et impact des couvertures QP et XS Tête

Dans cette partie, le plan de réassurance 2021 est appliqué aux charges de sinistres passées par risque et parfois par réseau dans le but d'obtenir les charges cédées à la réassurance par type de traité, c'est à dire QP et XS Tête de la Section A. Une brève analyse sera également menée par périmètre afin de juger l'efficacité des couvertures QP et XS Tête de la section A. La section B sera étudiée dans une prochaine section.

3.1.1 Périmètre DCTC et garantie accessoire DCAC

Banque Populaire

Une brève analyse de la couverture QP et XS tête par périmètre permettra de juger de l'efficacité de chaque couverture sur le périmètre Décès toutes causes des BP. Les deux indicateurs utilisés à cet effet sont le solde de réassurance et le ratio sinistre sur prime brut et net de réassurance. Ces indicateurs sont définis en 3.3.3 et 3.3.4.

Le tableau ci-dessous présente la répartition de la charge de sinistres totale cédée au réassureur, avec la partie de la charge cédée en Quote-Part et en XS tête sur le périmètre Décès Toutes Causes et garantie accessoire décès accidentel des Banques Populaires.

Année de survenance	Nombre de sinistres ayant déclenché l'XS tête	Charge de sinistre cédée en QP	Charge de sinistre cédée en section A	Taux de cession QP et section A
2016	10	€1,866,261	€572,694	18.49%
2017	11	€1,773,409	€1,766,839	25.74%
2018	8	€1,831,045	€633,880	19.02%
2019	10	€1,925,684	€976,413	20.78%
2020	3	€584,785	€495,000	24.33%

Table 25 – Charge de sinistres cédée a posteriori DCTC - BP

Dans les cinq dernières années, la couverture XS Tête de la section A se serait déclenchée systématiquement sur le périmètre décès toutes causes des Banques Populaires.

Efficacité de la QP seule

Ci-dessous le graphique illustre, par année de survenance, la charge de sinistres et la prime cédée en QP, le solde de réassurance QP, et les S/P brut et net de réassurance QP.

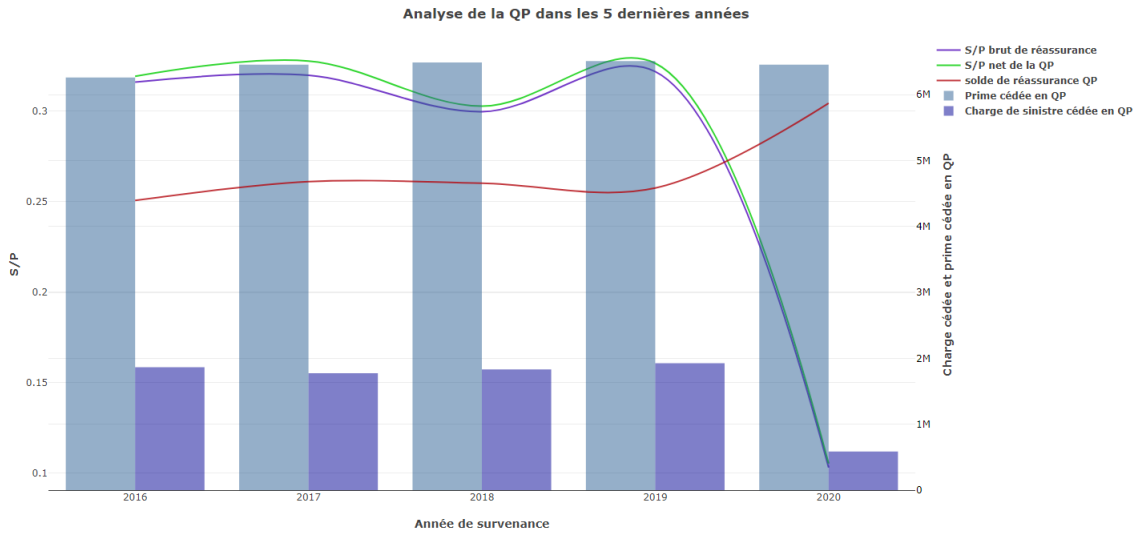

FIGURE 28 – Analyse de la couverture QP a posteriori DCTC - BP

La courbe représentant le S/P net de la QP est légèrement au dessus de la courbe du S/P brut de réassurance, cela signifie que la QP augmente sensiblement le S/P sur ce périmètre. De plus le solde de réassurance de la QP est très élevé ce qui signifie que la cédante est très déficitaire sur ce périmètre pour la couverture QP étudiée, en effet dans les cinq dernières années la prime cédée est très nettement supérieure à la charge cédée. Selon ces indicateurs, le graphique montre que la couverture QP pour le Décès Toutes Causes des BP n'est pas extrêmement efficace et est très coûteuse.

Ci-dessous le tableau donne les résultats chiffrés présentés dans le graphique précédent :

Année	Charge de sinistre cédée en QP	Prime cédée en QP	S/P brut de réassurance	S/P net de la QP	solde de réassurance QP
2016	€1,866,261.21	€6,260,001.95	31.605%	31.921%	€4,393,740.74
2017	€1,773,409.00	€6,452,597.68	31.974%	32.767%	€4,679,188.68
2018	€1,831,044.93	€6,488,115.68	29.964%	30.272%	€4,657,070.75
2019	€1,925,683.66	€6,509,287.29	32.185%	32.644%	€4,583,603.63
2020	€584,785.38	€6,453,943.00	10.316%	10.537%	€5,869,157.62

TABLE 26 – Efficacité de la QP a posteriori DCTC - BP

L'écart relatif moyen entre le S/P brut et net de réassurance QP est de **1.62%**, autrement dit la couverture QP augmente en moyenne le S/P brut de réassurance de **1.62%** sur les cinq dernières années. Par ailleurs le solde de réassurance moyen sur les cinq dernières années s'élève à environ **4 836 552€**, c'est le montant du déficit moyen de la cédante pour la couverture QP de ce périmètre.

Efficacité de la section A seule

Ci-dessous le graphique illustre, par année de survenance, la charge de sinistres et la prime cédée en section A, le solde de réassurance de la section A, et les S/P brut et net de la section A.

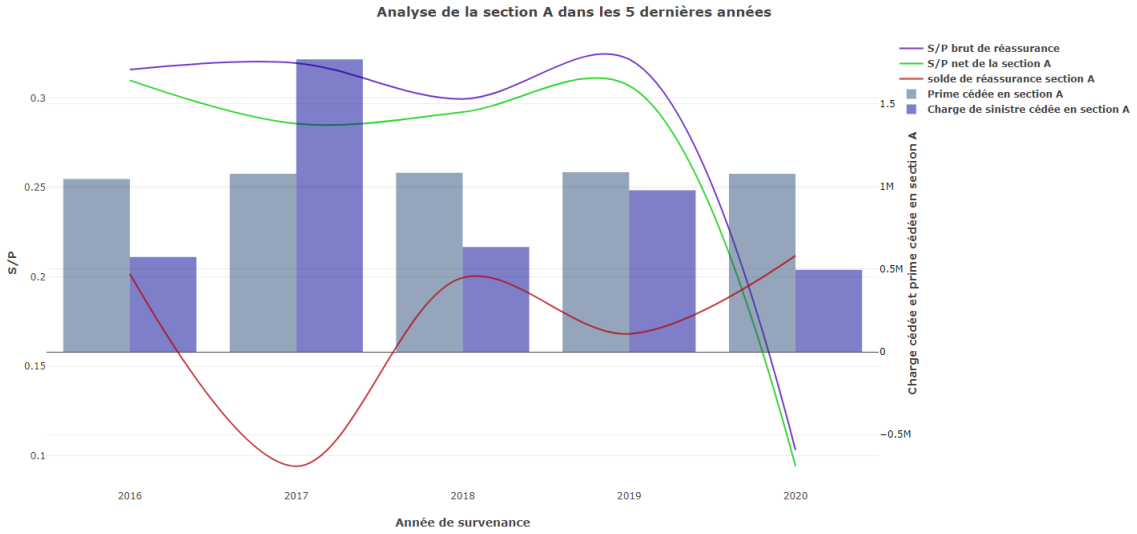

FIGURE 29 – Analyse de l'XS tête par périmètre a posteriori DCTC - BP

La courbe représentant le S/P net de la section A est clairement en dessous de la courbe du S/P brut de réassurance, cela signifie que la section A diminue le S/P sur ce périmètre. De plus le solde de réassurance de la section A est peu élevé voire même négatif en 2017, cela signifie que la cédante n'est pas trop déficitaire les cinq dernières années, elle est même gagnante en 2017 en cédant plus de charges que de primes en réassurance non proportionnelle. Selon ces deux indicateurs, le graphique montre que la couverture XS tête pour le Décès Toutes Causes des BP est plutôt efficace et est bien moins coûteuse que la QP.

Ci-dessous le tableau donne les résultats chiffrés présentés dans le graphique précédent :

Année	Charge de sinistre cédée en section A	Prime cédée en section A	S/P brut de réassurance	S/P net de la section A	solde de réassurance section A
2016	€572,694.11	€1,043,333.66	31.605%	31.008%	€470,639.55
2017	€1,766,839.34	€1,075,432.95	31.974%	28.582%	-€691,406.39
2018	€633,879.89	€1,081,352.61	29.964%	29.230%	€447,472.72
2019	€976,413.01	€1,084,881.21	32.185%	30.702%	€108,468.20
2020	€495,000.00	€1,075,657.17	10.316%	9.401%	€580,657.17

TABLE 27 – Efficacité de la section A a posteriori DCTC - BP

L'écart relatif moyen entre le S/P brut et net de réassurance QP est de **-5.69%**, autrement dit la couverture XS Tête par périmètre diminue en moyenne de le S/P brut de réassurance de **-5.69%** sur les cinq dernières années. Par ailleurs le solde de réassurance moyen sur les cinq dernières années s'élève à environ **183 166€**, c'est le montant moyen du déficit de la cédante pour la section A de ce périmètre, toutefois ce montant reste très nettement inférieur à celui de la QP.

Caisses d'Epargne

Le tableau ci-dessous présente la répartition de la charge cédée au réassureur, avec la charge cédée en Quote-Part et en XS tête sur le périmètre Décès Toutes Causes des CE.

Année de survenance	Nombre de sinistres ayant déclenché l'XS tête	Charge de sinistre cédée en QP	Charge de sinistre cédée en section A	Taux de cession QP et section A
2016	0	€15,376	€0	15.00%
2017	0	€109,274	€0	15.00%
2018	1	€364,649	€20,000	15.69%
2019	0	€417,228	€0	15.00%
2020	0	€197,281	€0	15.00%

Table 28 – Charge de sinistres cédée a posteriori DCTC- CE

Les produits de prévoyance individuelle des Caisses d'Epargne n'existent que depuis 2016, cela peut justifier que sur les cinq dernières années, un seul sinistre décès toutes causes aurait déclenché l'XS Tête de la section A.

Comme le plafond de la QP n'est quasiment jamais atteint dans les cinq dernières années et comme la couverture QP est une couverture proportionnelle, le S/P brut et net de QP est identique, sauf en 2018 lorsqu'un sinistre à dépassé le plafond de la QP augmentant le S/P de seulement 0.03% cette année là, ce qui reste anecdotique. De plus, la section A n'étant presque jamais déclenchée elle n'a aucun impact sur le S/P hormis en 2018.

Ainsi, ne disposant pas de suffisamment d'expérience passée sur ce périmètre, une analyse du S/P et du solde de réassurance a posteriori n'est pas très pertinente pour évaluer le plan de réassurance 2021.

3.1.2 Périmètre DCAC

Une nouvelle fois, une brève analyse de la couverture QP et XS tête par périmètre permettra de juger de l'efficacité de chaque couverture pour le périmètre de risque Décès accidentel. Les deux indicateurs utilisés à cet effet sont le solde de réassurance et le ratio sinistre sur prime brut et net de réassurance. Ces indicateurs sont définis en 3.3.3 et 3.3.4.

Le tableau ci-dessous présente la répartition de la charge de sinistres cédée au réassureur, avec la charge cédée en Quote-Part et en XS tête sur le périmètre Décès accidentel - BPCE.

Année de survenance	Nombre de sinistres ayant déclenché l'XS tête	Charge de sinistre cédée en QP	Charge de sinistre cédée en section A	Taux de cession QP et section A
2020	0	€180,000	€0	75.00%
2019	3	€805,730	€25,000	77.33%
2018	2	€680,642	€50,000	76.31%
2017	3	€903,020	€50,000	76.00%
2016	2	€565,535	€79,547	80.23%

Table 29 – Charge de sinistres cédée a posteriori DCAC - BPCE

Sur le périmètre DCAC, la couverture XS Tête de la section A se serait déclenchée systématiquement entre 2016 et 2019.

Efficacité de la QP seule

Ci-dessous le graphique illustre, par année de survenance, la charge de sinistres et la prime cédée en QP, le solde de réassurance QP, et les S/P brut et net de réassurance QP.

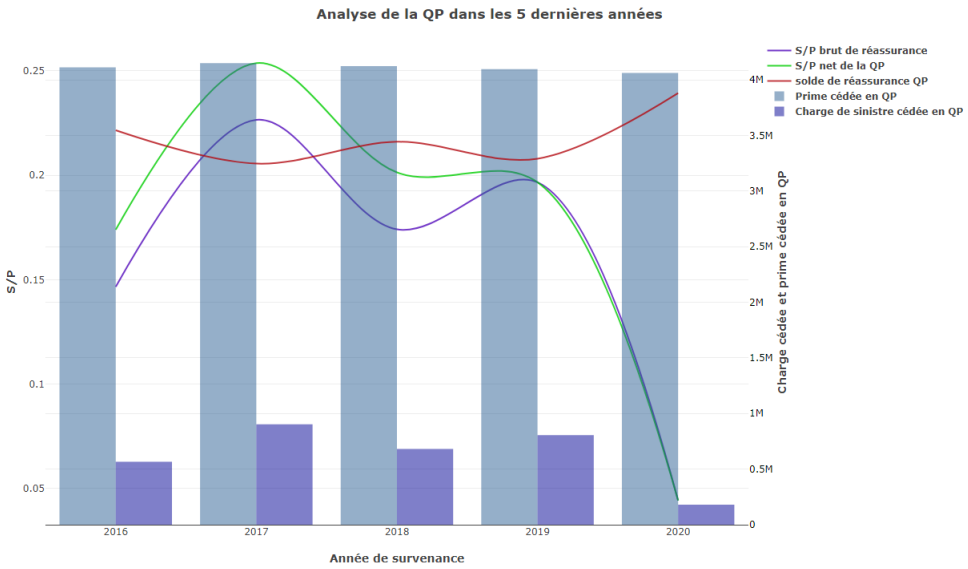

FIGURE 30 – Analyse de la couverture QP a posteriori DCAC

Jusqu'à 2019, la courbe représentant le S/P net de la QP est au dessus de la courbe du S/P brut de réassurance, cela signifie que la QP augmente le S/P sur ce périmètre. De plus le solde de réassurance de la QP est très élevé ce qui signifie que la cédante est très déficitaire sur ce périmètre pour la couverture QP étudiée, en effet dans les cinq dernières années la prime cédée est très nettement supérieure à la charge cédée. Selon ces indicateurs, le graphique montre que la couverture QP pour le Décès accidentel n'est pas extrêmement efficace et est très coûteuse.

Ci-dessous le tableau donne les résultats chiffrés présentés dans le graphique précédent :

Année	Charge de sinistre cédée en QP	Prime cédée en QP	S/P brut de réassurance	S/P net de la QP	solde de réassurance QP
2016	€565,534.93	€4,112,388.18	14.664%	17.399%	€3,546,853.25
2017	€903,019.76	€4,150,722.13	22.659%	25.370%	€3,247,702.37
2018	€680,641.79	€4,124,333.87	17.412%	20.140%	€3,443,692.08
2019	€805,730.37	€4,097,492.39	19.664%	19.664%	€3,291,762.02
2020	€180,000.00	€4,062,292.34	4.431%	4.431%	€3,882,292.34

TABLE 30 – Efficacité de la QP a posteriori DCAC

L'écart relatif moyen entre le S/P brut et net de réassurance QP est de **9.26%**, autrement dit la couverture QP augmente en moyenne le S/P brut de réassurance de **9.26%** sur les cinq dernières années. Par ailleurs le solde de réassurance moyen sur les cinq dernières années s'élève à environ **3 482 460€**, c'est le montant du déficit moyen de la cédante pour la couverture QP sur ce périmètre.

Efficacité de la section A seule

Ci-dessous le graphique illustre, par année de survenance, la charge de sinistres et la prime cédée en section A, le solde de réassurance de la section A, et les S/P brut et net de la section A.

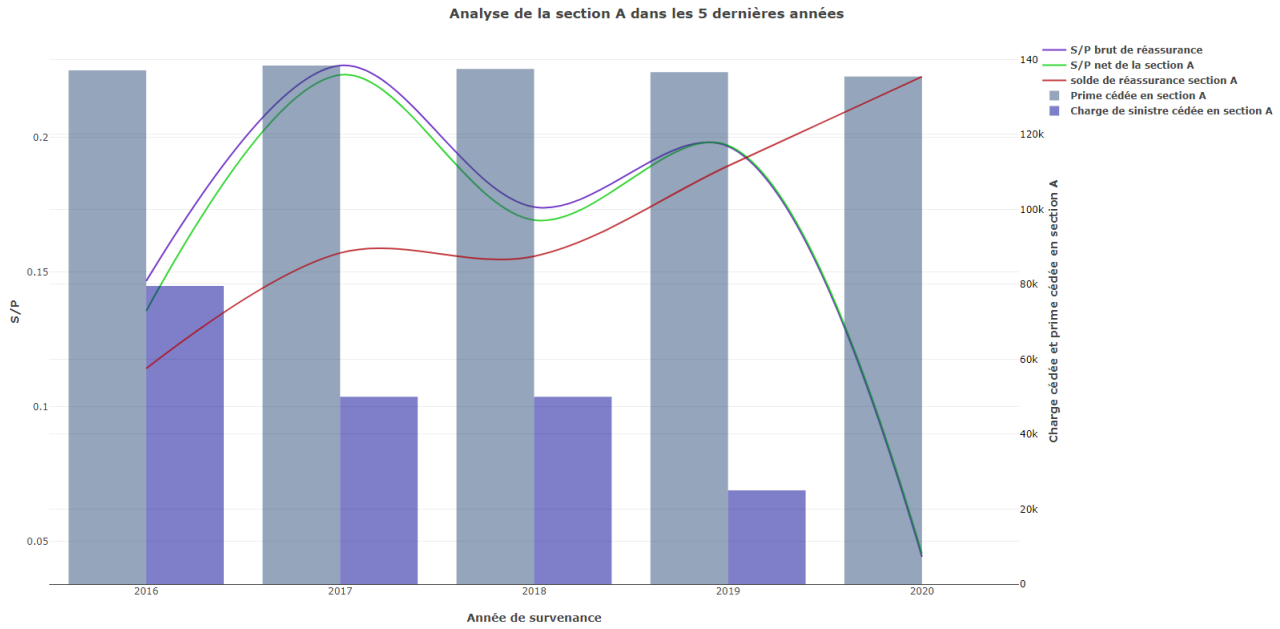

FIGURE 31 – Analyse de l'XS tête par périmètre a posteriori DCAC

La courbe représentant le S/P net de la section A est légèrement en dessous de la courbe du S/P brut de réassurance, cela signifie que la section A diminue sensiblement le S/P sur ce périmètre. De plus le solde de réassurance de la section A est peu élevé, cela signifie que la cédante n'est pas trop déficitaire dans les cinq dernières années. Selon ces deux indicateurs, le graphique montre que la couverture XS tête pour le Décès Toutes Causes des BP est plutôt efficace mais surtout bien moins coûteuse que la couverture QP.

Ci-dessous le tableau donne les résultats chiffrés présentés dans le graphique précédent :

Année	Charge de sinistre cédée en section A	Prime cédée en section A	S/P brut de réassurance	S/P net de la section A	solde de réassurance section A
2016	€79,547.00	€137,079.61	14.664%	13.552%	€57,532.61
2017	€50,000.00	€138,357.40	22.659%	22.314%	€88,357.40
2018	€50,000.00	€137,477.80	17.412%	16.926%	€87,477.80
2019	€25,000.00	€136,583.08	19.664%	19.699%	€111,583.08
2020	€0.00	€135,409.74	4.431%	4.545%	€135,409.74

TABLE 31 – Efficacité de la section A a posteriori DCAC

L'écart relatif moyen entre le S/P brut et net de la section A est de **-1.83%**, autrement dit la couverture XS Tête par périmètre diminue en moyenne de le S/P brut de réassurance de **-1.83%** sur les cinq dernières années. Par ailleurs le solde de réassurance moyen sur les cinq dernières années s'élève à environ **96 072€**, c'est le montant moyen du déficit de la cédante pour la section A de ce périmètre, toutefois ce montant reste très inférieur à celui de la QP.

3.1.3 Périmètre AT

Le tableau ci-dessous présente la répartition de la charge de sinistres cédée sur le périmètre Arrêt de travail - BPCE.

Année de survenance	Nombre de sinistres ayant déclenché l'XS tête	Charge de sinistre cédée en QP	Charge de sinistre cédée en section A	Taux de cession QP et section A
2020	0	€509,845	€0	50.00%
2019	0	€1,041,335	€0	50.00%
2018	0	€1,308,472	€0	50.00%
2017	0	€1,346,149	€0	50.00%
2016	0	€1,263,331	€0	50.00%
2015	0	€1,451,961	€0	50.00%
2014	1	€1,643,921	€23,805	50.72%

Table 32 – Charge de sinistres cédée a posteriori AT - BPCE

Il n'y a aucun sinistre AT déclenchant l'XS tête de la section A dans les cinq dernières années, en effet il faut remonter à l'année 2014 pour voir un sinistre AT déclencher la couverture XS tête sur ce périmètre.

Ce constat n'est pas surprenant puisque les montants garantis de l'arrêt de travail correspondent plus ou moins à un mois de salaire de l'assuré, il faudrait alors que l'assuré soit sinistré de nombreux mois pour cumuler 100k€de sinistre, donc pour que la couverture se déclenche il faudrait, par exemple, que l'assuré gagne plus de 100k€par an et soit en arrêt de travail au moins une année. C'est un événement rare.

Par ailleurs, pour les mêmes raisons que le périmètre Décès toutes causes des Caisses d'Epargne, l'analyse du S/P brut et net de réassurance QP n'est pas pertinente, puisqu'aucun sinistre n'aurait dépassé le plafond de la QP les cinq dernières années. Concernant la section A, comme aucun sinistre ne déclenche l'XS tête, le solde de réassurance est égal à la prime cédée soit 2,5% de l'assiette de primes hors taxes AT.

Voici une comparaison graphique des S/P brut et net de réassurance pour chaque couverture :

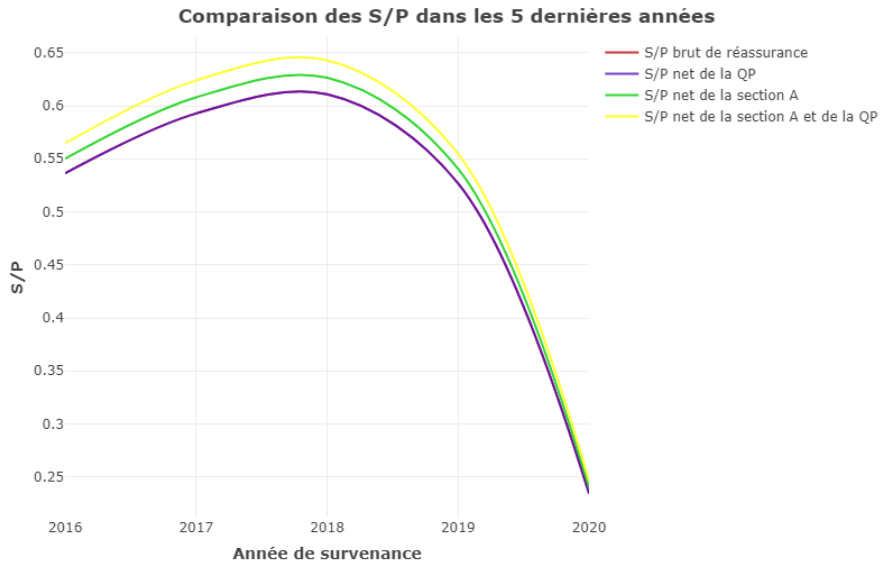

Figure 32 – Comparaison des ratios S/P pour l'AT

Le fait que les courbes du S/P brut de réassurance et net de la QP soient confondues confirme que le plafond de la QP n'a pas été dépassé. La position de la courbe S/P net de la section A par rapport à la courbe du S/P brut de réassurance montre que la section A augmente le S/P de la cédante sur le périmètre AT. Cette couverture XS tête n'aurait pas été efficace sur la sinistralité passée pour ce groupe de risque.

3.1.4 Périmètre MAV

Avant d'évaluer les charges de sinistres passées MAV, il faut calculer la cadence des règlements des sinistres MAV à l'aide de la méthode Chain Ladder sur un triangle des règlements cumulés. Parce qu'en effet, il y a un étalement des règlements de sinistres important sur ce périmètre de risque. Cette méthode est présentée en **annexe B** et pour plus de détails le lecteur est invité à consulter [**?**] (Schmidt, 2016).

Ensuite pour avoir les montants des règlements à l'ultime, il faut diviser les règlements comptables par le coefficient de cadence de règlement correspondant.

$$Montant\ de\ Règlement = Cadence\ de\ Règlement * Charge\ Ultime$$

Exemple : en 2018 un règlement comptable MAV s'élève à 30 000€ pour un sinistre survenu en 2017, la cadence de règlement en 2018 est de 21% donc le montant 30 000€ ne représente que 21% de la charge totale qui sera réglée à terme : $30000 = 21\% * Charge\ Ultime$, la charge ultime de ce sinistre vaudra alors $30000/0.21 = 142\ 857$€.

D'après le triangle des règlements MAV obtenu par la méthode Chain Ladder (**Annexe B**), un sinistre met environ 10 ans pour être entièrement réglé.

Il faut garder en tête que même en divisant les montants réglés par leur cadence de règlement correspondante, cela ne résout pas le problème pour les sinistres survenus non déclarés ou bien non encore réglés.

Le tableau ci-dessous présente la charge de sinistres cédée au réassureur, sur le périmètre MAV. La couverture XS Tête de la section A ne s'appliquant pas sur ce périmètre, la charge cédée à ce stade de l'étude correspond donc à la charge cédée en QP.

Année	Charge de sinistre cédée en QP	Prime cédée en QP	S/P brut de réassurance	S/P net de la QP	solde de réassurance QP
2016	€1,109,982.02	€4,496,489.93	24.686%	24.686%	€3,386,507.91
2017	€1,355,452.23	€5,272,631.91	25.707%	25.707%	€3,917,179.68
2018	€1,648,955.42	€6,053,693.26	27.239%	27.239%	€4,404,737.83
2019	€480,976.79	€6,745,369.14	7.130%	7.130%	€6,264,392.36
2020	€26,247.00	€7,317,104.54	0.359%	0.359%	€7,290,857.54

Table 33 – Efficacité de la QP a posteriori - MAV

Sur ce périmètre la QP n'a pas de plafond, du moins le plafond de la QP ne peut jamais être atteint puisqu'il correspond au plafond d'indemnisation soit 1,2M€. De ce fait le S/P est inchangé par cette couverture proportionnelle. Cependant le solde de réassurance moyen sur les cinq dernières années est de **5 052 735€** ce qui constitue un déficit moyen vraiment très important pour la cédante sur ce périmètre.

3.2 Analyse des cumuls

Dans cette partie, les quatre bases comptables des sinistres pour chaque risque sont jointes afin de cumuler les règlements par tête et par année de survenance. Une tête est identifiée à l'aide du numéro client.

Voici un graphique représentant les montants des sinistres réglés par année de survenance. Ces montants sont cumulés par tête pour tous les risques confondus.

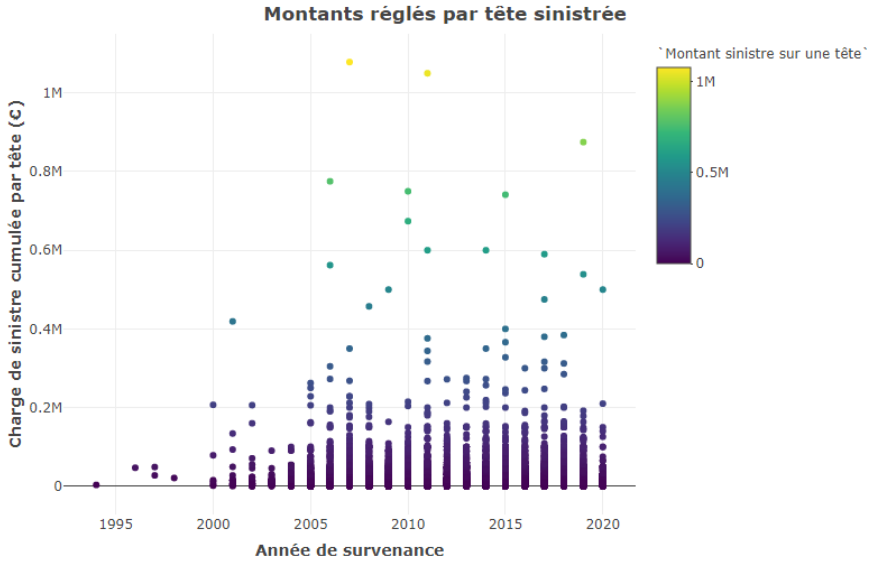

FIGURE 33 – Règlements des sinistres cumulés par tête, par année de survenance

Il y a deux têtes pour lesquelles le cumul de sinistres dépasse 1 million d'euros, et une quantité non négligeable de cumuls excédant les 100 000€. A ce stade la couverture de réassurance n'a pas encore été appliquée.

Application du plan de réassurance 2021 aux données

1ère étape : Application des QP plafonnées, par groupe de risque

En notant S le montant d'un sinistre, $Cession_{QP}$ la charge cédée en QP, $Retention_{QP}$ la charge conservée post QP :

- Périmètre DCTC et garantie accessoire accident : $Cession_{QP} = 15\% * min(S, 100000)$ et $Retention_{QP} = S - Cession_{QP}$
- Périmètre DCAC seul : $Cession_{QP} = 75\% * min(S, 100000)$ et $Retention_{QP} = S - Cession_{QP}$
- Périmètre AT seul : $Cession_{QP} = 50\% * min(S, 100000)$ et $Retention_{QP} = S - Cession_{QP}$
- Périmètre MAV seul : $Cession_{QP} = 65\% * min(S, 1200000)$ et $Retention_{QP} = S - Cession_{QP}$

2ème étape : Application des XS Tête par périmètre de risque - section A (DCAT uniquement)

Il suffit de d'appliquer la formule de cession XS Tête aux montants des sinistres S cumulés par tête, risque et année de survenance.

En notant $Cession_{XS}$ la charge cédée à la réassurance pour la section A et $Retention_{XS}$ la charge conservée par l'assureur après la section A :

$$Cession_{XS} = min(Portee, max(S - Priorite, 0))$$

$$Cession_{XS} = min(5000000, max(S - 100000, 0))$$
$$\text{et } Retention_{XS} = S - Cession_{XS}$$

Après application des QP sur les charges de sinistres par risque, et après le calcul du reste à charge assureur post application de l'XS Tête par périmètre, une analyse de l'XS Tête sur rétention (section B) peut être faite.

3ème étape : Application de l'XS Tête sur rétention au cumul de tous les risques - section B (DCAT et MAV)

Il suffit d'appliquer la formule de cession XS Tête aux rétentions obtenues post section A et post QP cumulées par tête et année de survenance.

En notant $Retention_{QP/XS}$ le reste à charge de l'assureur après les cessions QP et XS tête,

$$Retention_{QP/XS} = S - Cession_{QP} - Cession_{XS}$$

Puis, en notant $Cession_B$ la charge cédée à la réassurance pour la section B et $Retention_B$ la charge conservée par l'assureur après la section B :

$$Cession_B = min(Portee, max(Retention_{QP/XS} - Priorite, 0))$$
$$Cession_B = min(800000, max(Retention_{XS} - 100000, 0))$$
$$\text{et } Retention_B = Retention_{QP/XS} - Cession_B$$

Résultat obtenu - Section B

Le tableau ci-dessous donne, par année de survenance, le nombre de cumuls de sinistres qui auraient déclenché la section B après application des QP et XS Tête/périmètre, ainsi que le montant de charge cédée que cela représente.

Année de survenance	Nombre de têtes qui ont déclenché la section B	Montant pris en charge par la section B
2020	2	€92,500
2019	3	€153,783
2018	2	€62,008
2017	3	€155,750
2016	1	€27,500
2015	3	€164,850
2014	3	€178,714
2013	2	€55,000
2012	1	€27,500
2011	3	€66,524

Table 34 – Déclenchement de la section B et montant pris en charge a posteriori

Dans les dix dernières années la couverture XS Tête sur rétention, au cumul de tous les risques, se serait déclenchée tous les ans entre 1 et 3 fois par an.

Une courte analyse de l'efficacité de l'XS Tête sur rétention est donnée ci-dessous :

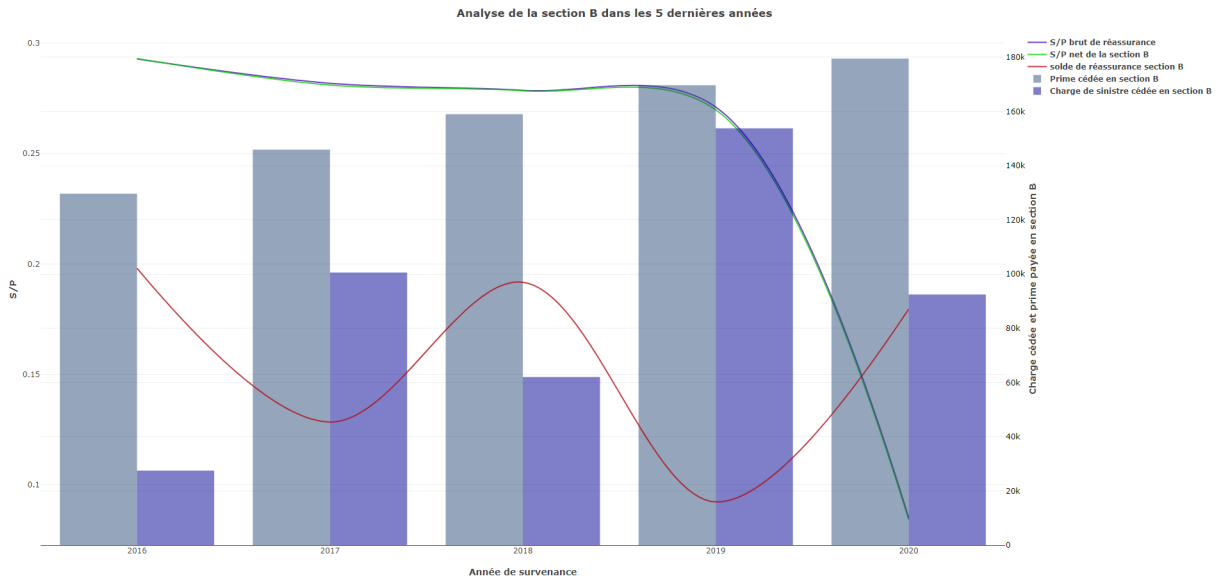

FIGURE 34 – graphique d'efficacité de la section B a posteriori

Année	Charge de sinistre cédée en section B	Prime cédée en section B	S/P brut de réassurance	S/P net de la section B	solde de réassurance de la section B
2016	€27,500.00	€129,657.30	29.287%	29.303%	€102,157.30
2017	€100,564.53	€145,948.37	28.183%	28.101%	€45,383.84
2018	€62,007.72	€158,986.25	27.867%	27.845%	€96,978.52
2019	€153,783.33	€169,721.86	27.106%	26.979%	€15,938.53
2020	€92,500.00	€179,528.74	8.513%	8.427%	€87,028.74

TABLE 35 – efficacité de la section B a posteriori

La couverture en excédent de sinistre par tête au cumul des rétentions sur tous les risques n'a qu'une très faible incidence sur le ratio S/P à elle seule. En effet, l'écart relatif moyen sur les cinq dernières années entre le S/P brut et net de la section B est de **-0.36%**. En moyenne sur les cinq années passées la section B aurait diminué le S/P de seulement **0.36%**. D'autre part, le solde de réassurance moyen pour cette couverture est de **69 497€**, ce qui représente un faible déficit pour la cédante.

Après avoir brièvement analysé les différentes couvertures de réassurance pour chaque périmètre de risque, puis pour les cumuls de risque, une analyse plus approfondie de la structure de réassurance sur le portefeuille global de prévoyance individuelle permettra de conclure quant à l'efficacité du nouveau programme de réassurance a posteriori.

3.3 Efficacité du nouveau plan de réassurance sur la sinistralité passée

Cette partie donne les principaux résultats calculés après l'application du plan de réassurance a posteriori sur le portefeuille global de prévoyance individuelle.

3.3.1 Charge cédée à la réassurance

Ci-dessous le graphique présente, par année de survenance, la part de charge cédée à la réassurance et la part conservée par l'assureur. Ces charges sont calculées par application du nouveau plan de réassurance complet a posteriori.

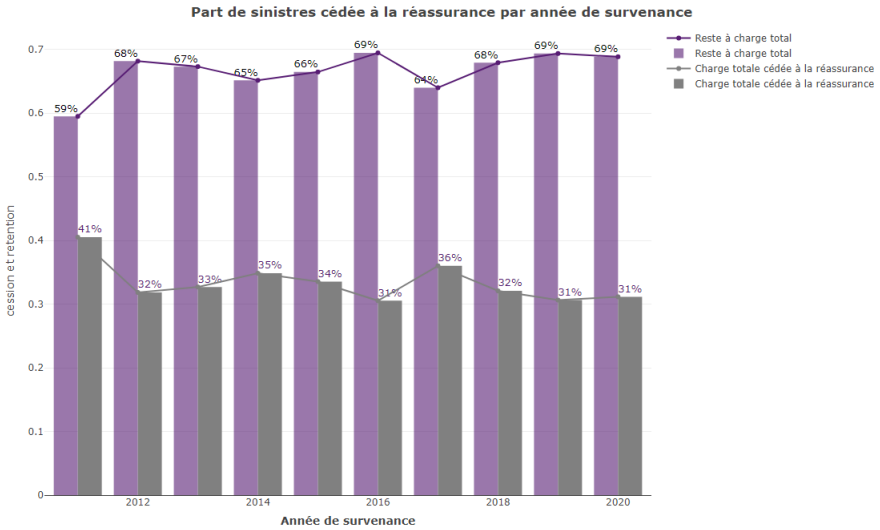

FIGURE 35 – Partage de la charge par année de survenance

Depuis 2011, la charge moyenne qui aurait été conservée par la cédante est de 66.4% de la charge totale. Et la charge moyenne cédée à la réassurance aurait représenté 33.6% de la charge totale des sinistres.

3.3.2 Prime cédée à la réassurance

Pour calculer les primes cédées à la réassurance, la base portefeuille *solvency-ATPI* est utilisée. Une assiette de prime hors taxes par risque et par année de survenance est calculée, puis les taux de primes des QP sont appliquées par risque, ainsi que les taux de primes des sections A et B.

Le tableau ci-dessous résume les montants de primes cédées à la réassurance par type de couverture dans les cinq dernières années.

Année	Prime cédée QP	Prime cédée section A	Prime cédée section B	Prime cédée totale
2016	€17,537,787	€1,350,418	€121,869	€19,010,074
2017	€19,274,861	€1,515,311	€137,448	€20,927,620
2018	€20,698,258	€1,640,911	€149,900	€22,489,068
2019	€21,825,909	€1,736,554	€159,679	€23,722,142
2020	€23,015,787	€1,820,981	€168,193	€25,004,961

TABLE 36 – Primes cédées à la réassurance les 5 dernières années

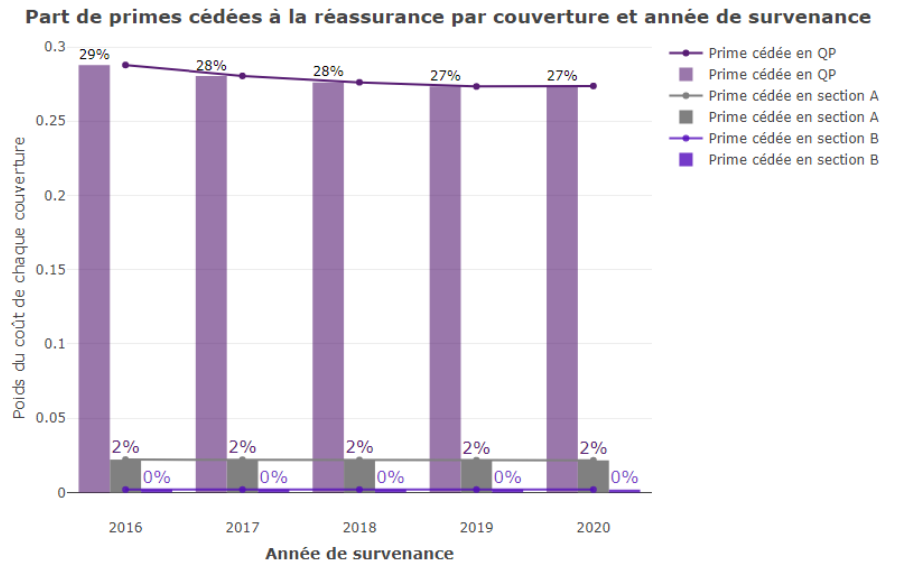

FIGURE 36 – Primes cédées à la réassurance les 5 dernières années

Les taux de prime des XS Tête de la section A et B sont fixes et valent respectivement 2.5% et 0.2%, le taux de prime global de la QP à travers tous les périmètres de risque évolue à la baisse depuis 2016, et la couverture non proportionnelle est très peu coûteuse en comparaison avec la couverture proportionnelle des QP.

3.3.3 Solde de réassurance

Il est désormais possible de calculer l'écart entre les primes cédées et les charges cédées au total une fois que le plan de réassurance complet est appliqué, appelé le solde de réassurance :

Annee	Charges cédées	Primes cédées	Solde de réassurance
2016	€5,798,434	€19,010,074	€13,211,640
2017	€7,406,522	€20,927,620	€13,521,098
2018	€7,108,109	€22,489,068	€15,380,959
2019	€7,048,251	€23,722,142	€16,673,891
2020	€2,380,523	€25,004,961	€22,624,438

TABLE 37 – Solde de réassurance par année de survenance

D'après cet indicateur, Natixis Assurances aurait été très déficitaire dans les cinq dernières années en appliquant le plan de réassurance 2021 a posteriori, avec en moyenne un solde de réassurance autour de 16.3M€. C'est-à-dire que sur les cinq ans Natixis aurait cédé beaucoup plus de primes que de charges à la réassurance.

Il serait intéressant de regarder quelle couverture de réassurance aurait coûté le plus cher à la cédante dans les cinq dernières années, pour ce faire le graphique ci-dessous donne l'évolution des soldes de réassurance pour les différentes couvertures de réassurance depuis 2016.

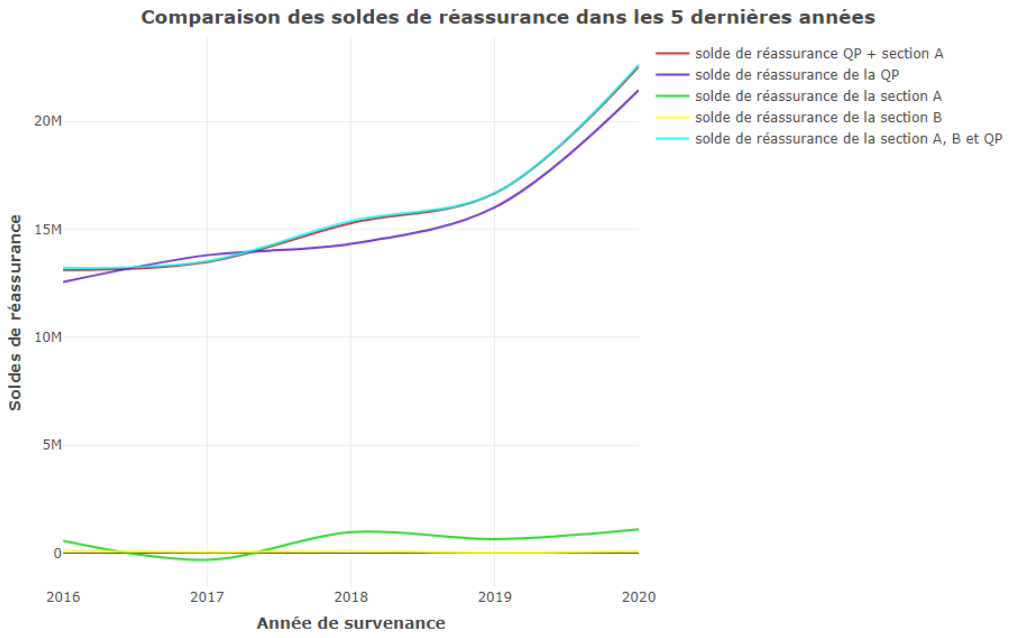

FIGURE 37 – Comparaison des soldes de réassurances a posteriori

En analysant la position des courbes il ressort que les couvertures non proportionnelles en XS Tête sont les moins coûteuses, dans les cinq dernières années le déficit de réassurance aurait été causé par la QP.

3.3.4 S/P brut et net de réassurance

A partir des charges cédées et primes cédées il est également possible de calculer un ratio de sinistres sur primes (S/P) net de réassurance pour ensuite le comparer au ratio S/P brut de réassurance :

$$Ratio\ S/P_{brut} = \frac{Charge\ Totale}{Primes\ Totales} \text{ et } Ratio\ S/P_{net} = \frac{Charge\ Totale - Charge\ Cédée}{Primes\ Totales - Primes\ Cédées}$$

Cet indicateur permet de juger l'efficacité du plan de réassurance dès lors que la cession à la réassurance permet de diminuer le S/P de l'assureur : $Ratio\ S/P_{net} < Ratio\ S/P_{brut}$

Ci-dessous le tableau présente les ratios sinistres sur primes bruts et nets de réassurance par année de survenance, ainsi qu'une indicatrice d'efficacité selon le critère $Ratio\ S/P_{net} < Ratio\ S/P_{brut}$

Année	S/P brut de réassurance	S/P net de réassurance	Ecart relatif	Efficacité de la couverture de réassurance
2016	31.158%	31.456%	0.956%	Pas efficace
2017	29.926%	27.532%	-7.997%	Efficace
2018	29.557%	28.678%	-2.974%	Efficace
2019	28.811%	28.431%	-1.321%	Efficace
2020	9.086%	8.903%	-2.020%	Efficace

TABLE 38 – S/P brut et net de réassurance par année de survenance

Dans les cinq dernières années, le plan actuel de réassurance aurait diminué le ratio S/P en moyenne d'environ **2.67%**, notamment en 2017, la baisse du S/P aurait été de 7.997%. Globalement la couverture de réassurance 2021 aurait été efficace selon cet indicateur excepté en 2016 où le S/P aurait augmenté très sensiblement à cause du plan de réassurance. Ci-dessous le graphique positionne les

courbes des S/P brut et net de réassurance pour chaque couverture :

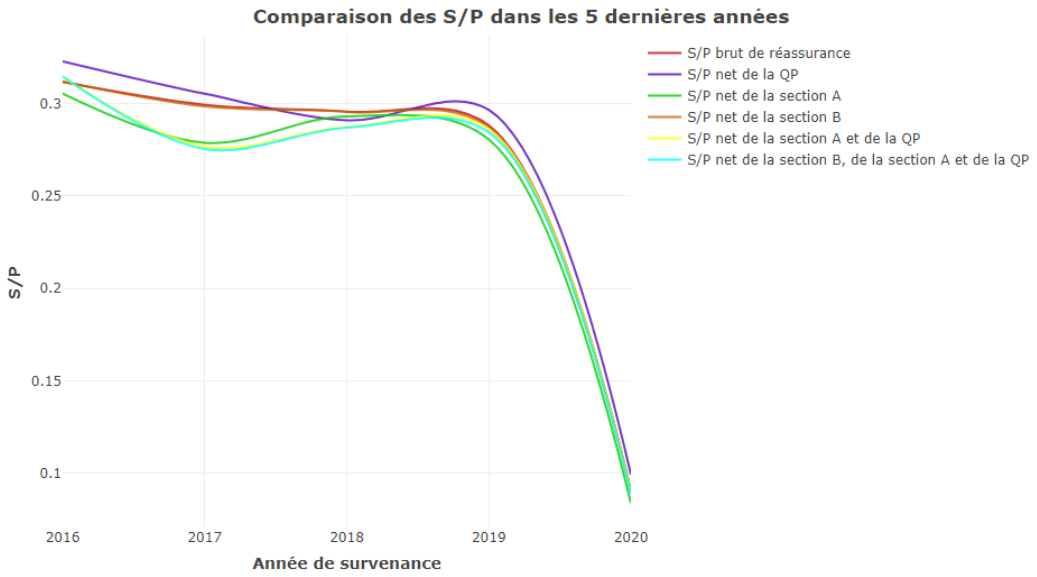

FIGURE 38 – Position courbes S/P brut et net de réassurance a posteriori

Graphiquement, la courbe du S/P net de la QP se situe au dessus de la courbe S/P brut de réassurance hormis en 2018, la courbe S/P net de la section A est en dessous de la courbe S/P brut de réassurance en tout point et la courbe S/P net de la section B est presque confondue avec la courbe S/P brut de réassurance. Ainsi, la section B n'a pas une forte influence sur le S/P brut, la section A diminue notablement le S/P brut et la QP à tendance à augmenter le S/P. Concernant les trois couvertures cumulées QP, section A et section B, la courbe du S/P se situe en dessous de la courbe S/P brut depuis 2017 ce qui montre une efficacité certaine du nouveau plan de réassurance a posteriori selon l'indicateur S/P.

3.3.5 Résultat brut et net de réassurance

A partir des charges cédées et primes cédées sont aussi calculés un résultat brut et net de réassurance :

$$\textit{Résultat Brut} = \textit{Primes totales} - \textit{Charges totales}$$
$$\textit{Résultat Net} = \textit{Primes totales} - \textit{Primes cédées} - \textit{Charges totales} + \textit{Charges cédées}$$

Cela constitue un indicateur de profit pur, mais le calcul de la volatilité des résultats bruts et nets de réassurance sur les années passées permettra de vérifier si l'un des objectifs premiers de la réassurance est atteint, c'est-à-dire, si la réassurance permet bien de diminuer la volatilité du résultat, et donc de le stabiliser.

Année	Résultat Brut de Réassurance	Résultat Net de Réassurance	Ecart
2016	€41,948,168	€28,736,528	-31.50%
2017	€48,158,117	€34,637,019	-28.08%
2018	€52,797,256	€37,416,297	-29.13%
2019	€56,836,908	€40,163,017	-29.34%
2020	€76,454,951	€53,830,513	-29.59%

TABLE 39 – Résultat brut et net de réassurance par année de survenance

Les courbes donnant l'évolution des résultats bruts et nets de réassurance sont tracées ci-dessous :

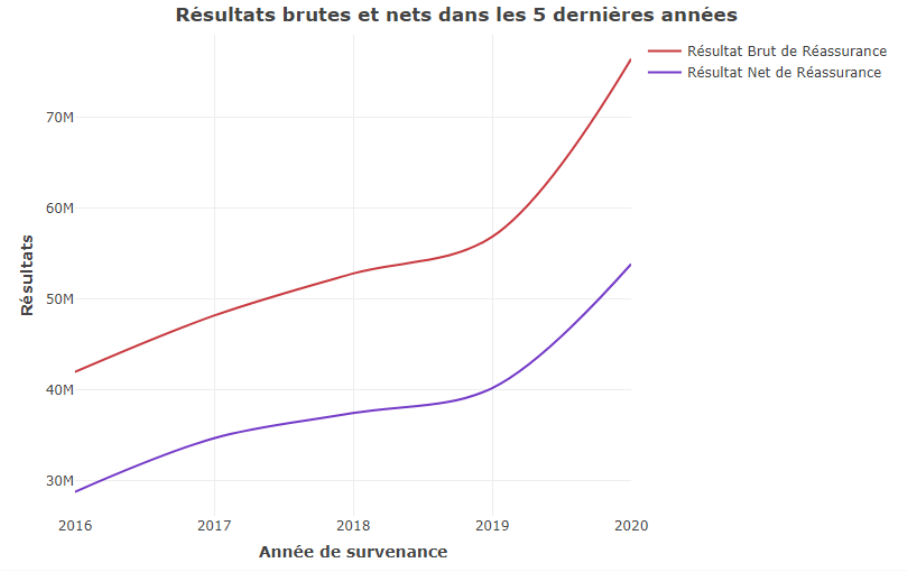

FIGURE 39 – Evolution du résultat brut et net de réassurance a posteriori

- La volatilité du résultat brut s'élève à : **13 090 236€**

- La volatilité du résultat net s'élève à : **9 329 655€**

La plan de réassurance 2021 aurait effectivement permis de baisser la volatilité du résultat d'environ **29%** sur les cinq dernières années $(9\ 329\ 655 - 13\ 090\ 236)/13\ 090\ 236 = -0.287)$, ce qui est non négligeable. Le plan de réassurance est très efficace selon cet indicateur a posteriori puisqu'il montre que le nouveau programme de réassurance stabilise notablement le résultat.

3.3.6 Marge technique brute, nette et cédée

Les marges techniques brutes, nettes et cédées peuvent se calculer à partir du résultat brut et du solde de réassurance. Elles correspondent respectivement à la rentabilité de l'affaire pour la cédante avant réassurance, après réassurance et à la rentabilité de l'affaire pour le réassureur.

La marge technique brute se calcule comme suit :

$$Marge\ technique\ brute = \frac{Résultat\ brut\ de\ réassurance}{Primes}$$

La marge technique nette se calcule comme suit :

$$Marge\ technique\ nette = \frac{Résultat\ net\ de\ réassurance}{Primes\ nettes}$$

Et la marge technique cédée se calcule comme suit :

$$Marge\ cédée = \frac{Primes\ cédées\ -\ Charges\ cédées}{Primes\ cédées} = \frac{Solde\ de\ réassurance}{Primes\ cédées}$$

La comparaison entre la marge technique brute et nette permet de voir si la rentabilité est meilleure une fois que la réassurance a été intégrée et la marge technique cédée permet de voir quelle rentabilité est cédée en réassurance.

Voici les marges techniques brutes et cédées calculées par année de survenance dans les 5 dernières années :

Année	Marge technique brute	Marge technique nette	Marge technique cédée
2016	68.84%	68.54%	69.50%
2017	70.07%	72.47%	64.61%
2018	70.44%	71.32%	68.39%
2019	71.19%	71.57%	70.29%
2020	90.91%	91.10%	90.48%

TABLE 40 – Marge brute, nette et cédée par année de survenance

La réassurance a tendance à augmenter légèrement la rentabilité pour la cédante, puisqu'en moyenne dans les cinq dernières années la réassurance aurait augmenté la marge technique de 0.99%, ce qui reste assez faible.

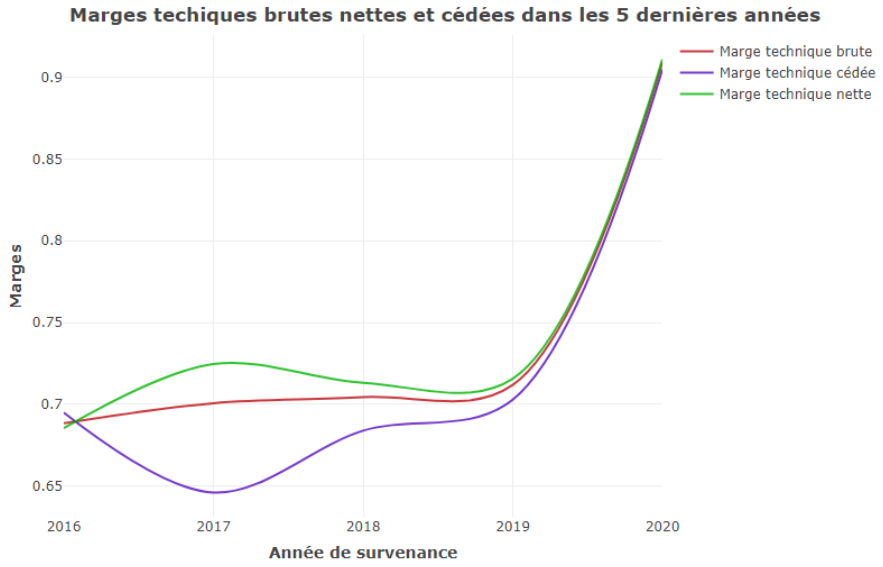

FIGURE 40 – Evolution des marges techniques brutes nettes et cédées a posteriori

Depuis 2017, la courbe de la marge nette se situe au-dessus de la courbe de la marge brute ce qui montre un impact positif de la réassurance sur la rentabilité de la cédante. En ce qui concerne le réassureur, l'affaire est un peu moins rentable que pour la cédante comme depuis 2017 la courbe de la marge cédée est en-dessous des deux autres courbes.

4 Chapitre 4 - Etude du plan de réassurance a priori

L'objectif général de ce chapitre est de simuler, pour chaque périmètre de risque, la survenance des sinistres sur l'ensemble des assurés en portefeuille sur un horizon d'un an. Cela va permettre d'évaluer le plan de réassurance 2021 a priori, en récupérant les indicateurs souhaités. La répétition de la simulation de la charge de sinistre sur le principe de Monte Carlo permettra d'obtenir pour chaque périmètre de risque une distribution des indicateurs, bruts et nets de réassurance, dont il sera possible de vérifier la cohérence à l'aide des données historiques et de l'étude a posteriori.

4.1 Statistique sinistres graves a priori

Dans cette section l'idée est de construire un indicateur de risque a priori sur le coût des sinistres graves espérés à horizon 1 an qui sera rapporté au coût de la réassurance.

Pour chaque périmètre de risque, l'étude se portera sur une sous population du portefeuille ayant des gros capitaux sous risque. Le seuil des gros capitaux sous risques sera déterminé de manière à avoir un effectif minimum détenant les plus gros capitaux sous risque, représentant au moins 1 000 individus et lorsque c'est possible ce seuil sera fixé à 100 000€, puisque ce montant est le seuil de déclenchement des XS Tête des sections A et B. Pour cette sous population, un âge actuariel pondéré par le poids des capitaux sous risques et le poids des sexes sera calculé, puis la probabilité de survenance d'un sinistre pour cette sous population sera estimée à partir de la loi d'occurence du sinistre et de cet âge actuariel.

Le risque associé à cette sous population se calcule comme suit :

$$\mathbb{E}[S_{graves}] = \sum_{i=1}^{N} \hat{q}_x * CSR_i$$

où S_{graves} est la variable aléatoire des sinistres graves,

N est le nombre d'assurés ayant des gros capitaux,

$\hat{q}_x$ est la probabilité de survenance du sinistre associée à l'âge actuariel de la sous population étudiée,

et CSR_i est le montant garanti de l'individu i.

D'autre part, le coût de la réassurance pour cette sous population se calcule comme suit :

$$\textit{Prime cédée des gros capitaux} = \sum_{i=1}^{N} Prime_i * (TauxQP + TauxA + TauxB)$$

où N est le nombre d'assurés ayant des gros capitaux,

$Prime_i$ est la prime annuelle hors taxe payée par l'individu i,

$TauxQP$ est le taux de cession de la QP,

$TauxA$ est le taux de prime de la section A ($TauxA = 2,50\%$),

et $TauxB$ est le taux de prime de la section B ($TauxB = 0,20\%$).

Ainsi la charge estimée annuelle rapporté au coût du traité de réassurance est donnée par :

$$\frac{\mathbb{E}[S_{graves}]}{\textit{Prime cédée des gros capitaux}}$$

Si le ratio ci-dessus est supérieur à 100% cela signifie que Natixis peut espérer céder plus charges que de primes au réassureur. Et plus ce ratio est élevé (tout en étant supérieur à 100%), plus l'assureur risque de céder de grandes charges au réassureur par rapport à la prime qu'il lui cédera. Cet indicateur est donc à maximiser du point de vue de l'assureur.

4.1.1 Analyse des statistiques obtenues par périmètre de risque

DCTC - Banque Populaire

Le graphique ci-dessous présente les capitaux sous risque maximaux par âge et par sexe dans le portefeuille décès toutes causes des Banques Populaires :

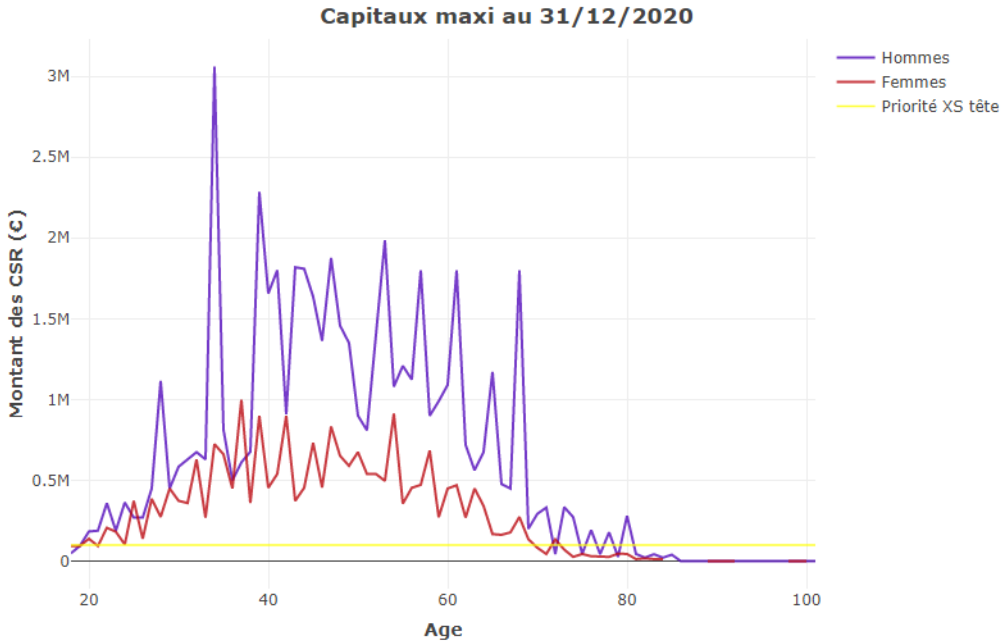

FIGURE 41 – CSR maximaux par âge et sexe DCTC BP

Pour presque chaque âge il y a des capitaux sous risque supérieurs à 100 000€. Ces cas seront analysés plus en détail dans ce qui suit.

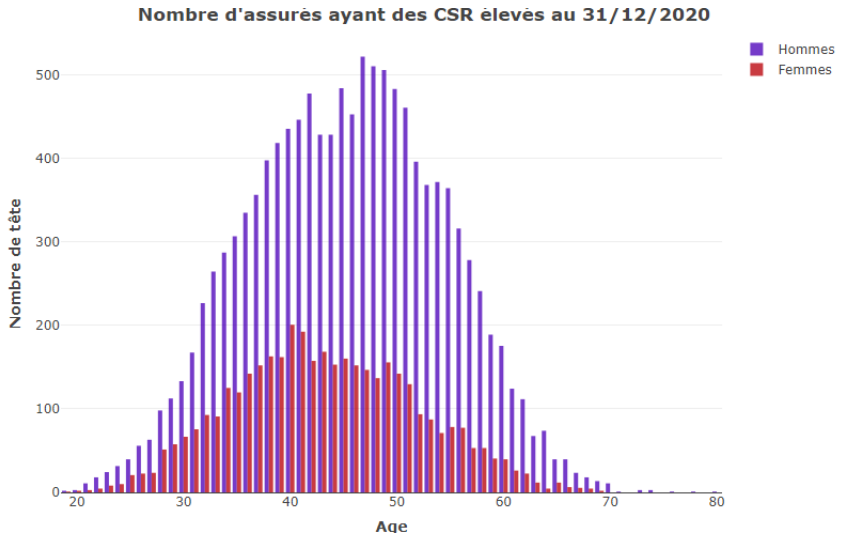

FIGURE 42 – Nombre de tête ayant des CSR élevés par âge et sexe DCTC BP

Pour le risque décès toutes causes du réseau Banque Populaire, le seuil des montants garantis élevés sera fixé à 100 000€, ce seuil correspond au quantile d'ordre 97% de la distribution de tous les CSR du portefeuille au 31/12/2020. Ce seuil est convenable parce que c'est le seuil de déclenchement des excédents de sinistres par tête.

Les gros capitaux sous risque ainsi définis sont portés par 17 997 individus soit environ **3%** des effectifs totaux et représentent **16.9%** de la masse totale des capitaux sous risque, ce qui est très significatif. Le CSR moyen du portefeuille des capitaux élevés est de **152 350€**.
Ci-dessous sont présentés l'âge actuariel du portefeuille des gros capitaux, le coût du traité de réassurance, le coût espéré des sinistres graves et le ratio S/P des sinistres graves espérés à horizon 1 an.

Âge actuariel	Primes cédées sinistres graves	Espérance du cout des sinistres graves	Ratio S/P éspéré des sinistres graves
51	€2,345,989.59	€7,040,867.35	300.12%

FIGURE 43 – Age actuariel des assurés aux capitaux sous risque élevés DCTC BP

L'âge actuariel du portefeuille des gros capitaux est de **51 ans** et la probabilité de décès mixte associée à cet âge est de **0.257%**. Cette probabilité est obtenue à partir de la table de mortalité décès toutes causes certifiée sur le portefeuille des Banques Populaires et est pondérée par le poids des sexes et des capitaux. D'après le tableau ci-dessus la charge estimée annuelle est de **7 041 k€**, en rapportant cette charge estimée au coût du traité de réassurance le ratio obtenu est de **300.12%**. L'assureur va donc céder a priori, trois fois plus de charge que de primes pour cette sous-population portant les plus gros risques en termes de capitaux élevés.

DCTC - Caisses d'Epargne
Le graphique ci-dessous présente les capitaux sous risque maximaux par âge et par sexe dans le portefeuille décès toutes causes des Caisses d'Epargne :

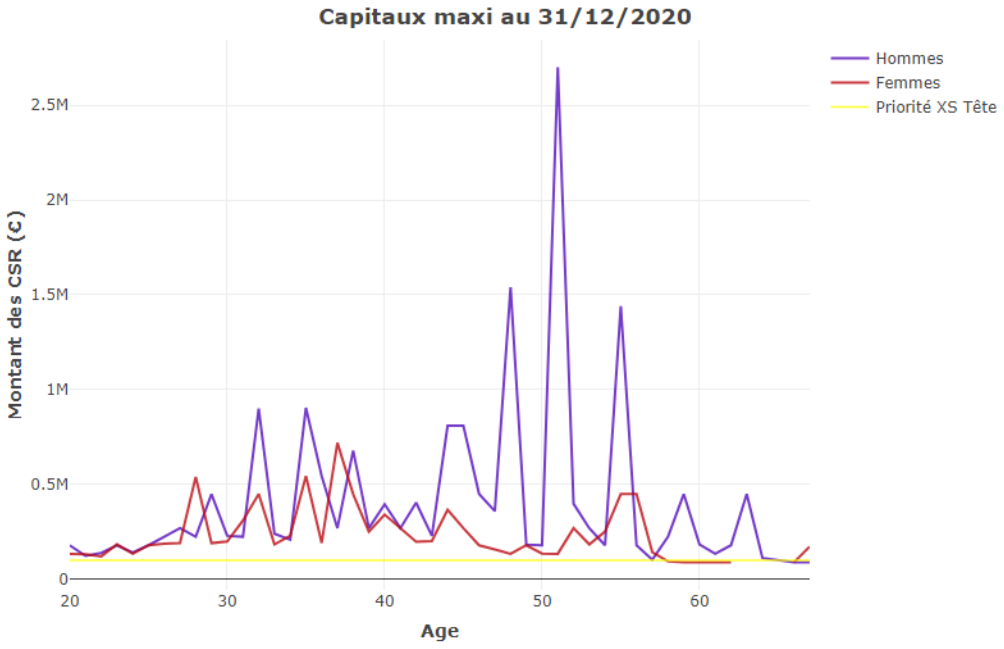

FIGURE 44 – CSR maximaux par âge et sexe DCTC CE

Pour presque tous les âges il y a des capitaux sous risque supérieurs à 100 000€, c'est-à-dire à la priorité de l'XS Tête. Ces cas seront analysés plus en détail dans ce qui suit.

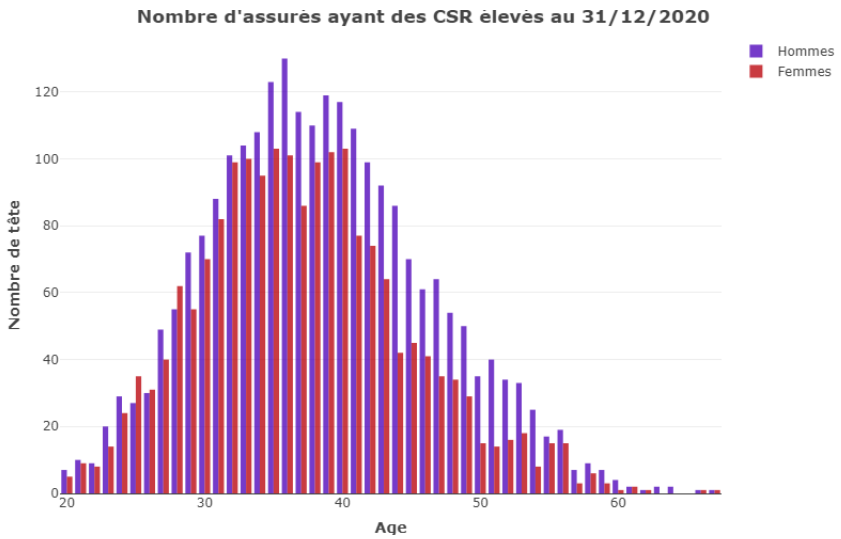

FIGURE 45 – Nombre de tête ayant des CSR élevés par âge et sexe DCTC CE

Pour la Caisse d'Epargne, le seuil des capitaux sous risque élevés est de 100 000€, c'est le quantile d'ordre 1-α avec $\alpha = 0.5\%$ *i.e* la quantile d'ordre 99.5% de la distribution de tous les capitaux sous risque. Ce seuil est convenable car il correspond à la priorité des XS Tête de la section A et B.
Les capitaux sous risque élevés sont portés par 4310 personnes soit **0.583%** des effectifs totaux et représentent **3.85%** de la masse totale des capitaux sous risque, ce qui est assez significatif.
Le CSR moyen du portefeuille des gros capitaux est de **125 135€**.
Ci-dessous sont présentés l'âge actuariel du portefeuille des capitaux élevés, le coût du traité de réassurance, le coût espéré des sinistres graves et le ratio S/P des sinistres graves espéré à horizon 1 an.

Âge actuariel	Primes cédées sinistres graves	Espérance du cout des sinistres graves	Ratio S/P éspéré des sinistres graves
42	€247,483.89	€616,753.84	249.21%

FIGURE 46 – Age actuariel des assurés aux capitaux sous risque élevés DCTC CE

L'âge actuariel du portefeuille des capitaux élevés est de **42 ans** et la probabilité de décès mixte associée à cet âge est de **0.114%**. Cette probabilité est obtenue à partir de la table de mortalité décès toutes causes des Caisses d'Epargne et est pondérée par le poids des sexes et des capitaux. D'après le tableau ci-dessus la charge estimée annuelle est d'environ **617 k€**, en rapportant cette charge estimée au coût du traité de réassurance le ratio obtenu est de **249.21%**. L'assureur va donc céder environ 2,5 fois plus de charge que de primes pour cette sous population portant les plus gros risques en termes de capitaux élevés.

DCAC - BPCE

Le graphique ci-dessous présente les capitaux sous risque maximaux par âge et par sexe dans le portefeuille décès accidentel de BPCE :

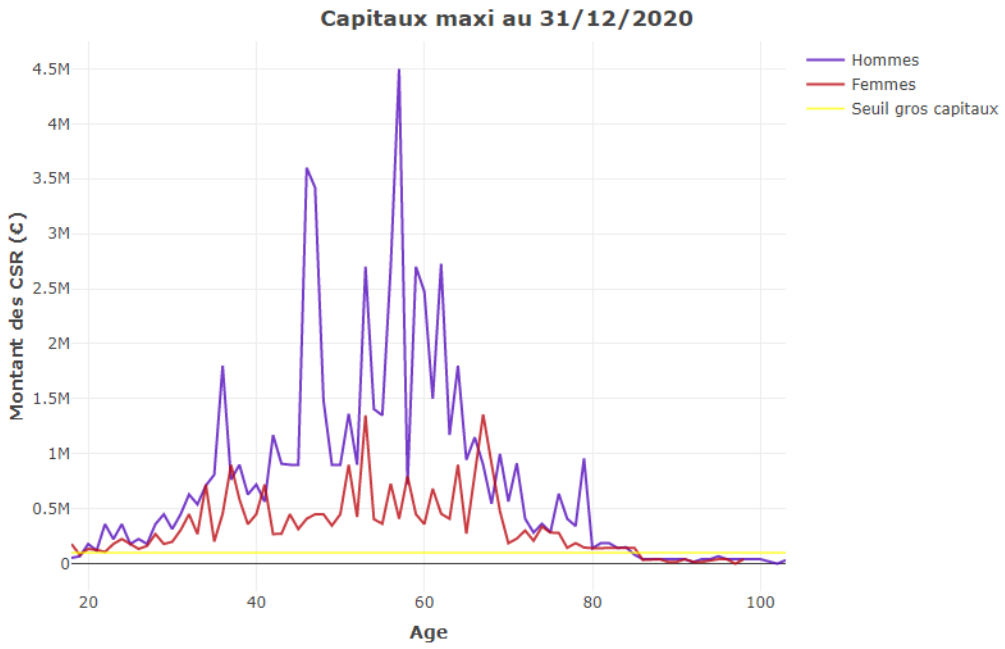

FIGURE 47 – CSR maximaux par âge et sexe DCAC BPCE

Pour tous les âges il y a des capitaux sous risque supérieurs à 100 000€. Ces cas seront analysés plus en détail dans ce qui suit.

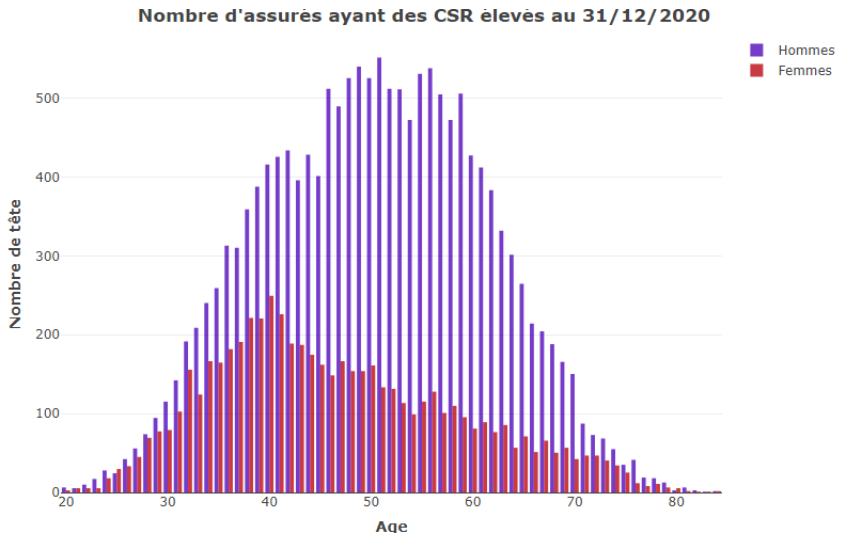

FIGURE 48 – Nombre de tête ayant des CSR élevés par âge et sexe DCAC BPCE

Pour le décès accidentel, le seuil des capitaux élevés sera fixé à 100 000€, ce seuil correspond au quantile d'ordre 98.5% de la distribution de tous les CSR du portefeuille au 31/12/2020.
Les gros capitaux sous risque sont portés par 24 349 personnes soit **1.53%** des effectifs totaux et représentent **11.1%** de la masse totale des capitaux sous risque, ce qui est très significatif.
Le CSR moyen du portefeuille des capitaux élevés est de **150 570€**.
Ci-dessous sont présentés l'âge actuariel du portefeuille des gros capitaux, le coût du traité de réassurance, le coût espéré des sinistres graves et le ratio S/P des sinistres graves espéré à horizon 1 an.

L'âge actuariel du portefeuille des gros capitaux est de **18 ans** (la loi de mortalité accidentelle est construite par tranche d'âges, allant de 18 à 25 ans, puis de 26 ans à 65 ans, puis par âge à partir de 66 ans, cela explique en partie ce jeune âge actuariel plutôt étonnant) et la probabilité de décès

Âge actuariel	Primes cédées sinistres graves	Espérance du cout des sinistres graves	Ratio S/P éspéré des sinistres graves
18	€3,045,870.53	€603,785.64	19.82%

FIGURE 49 – Age actuariel des assurés aux capitaux élevés DCAC BPCE

mixte associée à cet âge est de **0.016%**. Cette probabilité est obtenue à partir de la table de mortalité décès accidentel et est pondérée par le poids des sexes et des capitaux. D'après le tableau ci-dessus la charge estimée annuelle est d'environ **604 k€**, en rapportant cette charge estimée au coût du traité de réassurance le ratio obtenu est de **19.82%**. A priori, l'assureur va céder moins de charges que de primes pour cette sous-population portant les plus gros risques en termes de capitaux élévés. Ce constat n'est pas surprenant puisqu'une grande partie des primes est cédée en raison du taux élevé de la QP.

AT - BPCE

Le graphique ci-dessous présente les capitaux sous risque maximaux par âge et par sexe dans le portefeuille de risque arrêt de travail de BPCE :

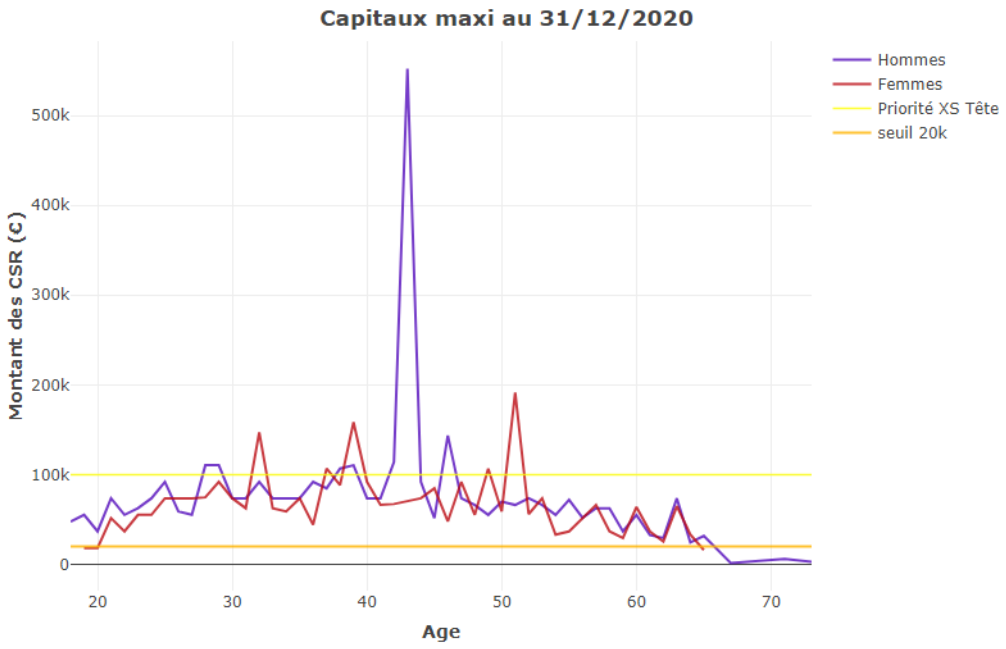

FIGURE 50 – CSR maximaux par âge et sexe AT BPCE

Il y a peu de capitaux sous risque supérieurs à 100 000€, mais pour tous les âges il y a des capitaux sous risque dépassant 20 000€. Ces cas seront analysés plus en détail dans ce qui suit.

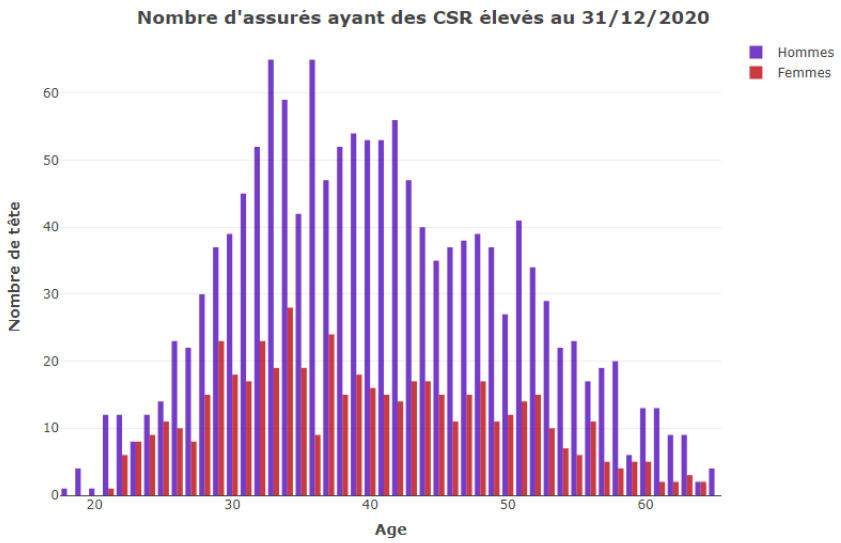

FIGURE 51 – Nombre de tête ayant des CSR élevés par âge et sexe AT BPCE

Pour l'AT, le seuil des gros capitaux sera fixé à 20 000€, pour avoir suffisamment d'effectif ayant des capitaux considérés comme élevés. Ce seuil correspond approximativement au quantile d'ordre 95.25% de la distribution de tous les capitaux sous risque du portefeuille au 31/12/2020.
Les gros capitaux sous risque sont portés par 1950 assurés soit environ **4.75%** des effectifs totaux et représentent **28.2%** de la masse totale des capitaux sous risque, ce qui est très significatif.
Le CSR moyen du portefeuille des gros capitaux est de **35 484€**.
Ci-dessous sont présentés l'âge actuariel du portefeuille des gros capitaux, le coût du traité de réassurance, le coût espéré des sinistres graves et le ratio S/P des sinistres graves espéré à horizon 1 an.

Primes cédées sinistres graves	Espérance du cout des sinistres graves	Ratio S/P éspéré des sinistres graves
€30,560.89	€28,232.76	92.38%

FIGURE 52 – Statistiques a priori sinistres graves AT

L'âge actuariel pour ce portefeuille n'a pas de sens puisque les taux d'incidence utilisés en AT sont des taux *flat*, c'est-à-dire fixe pour tout âge. La probabilité d'incidence en ITT mixte associée à tout âge est de **4.1%**. Cette probabilité est obtenue à partir de la loi d'incidence en AT construite en interne et validée par la fonction actuarielle. La probabilité d'incidence en IPT/IPP mixte associée à tout âge est de **0.029%**, elle est obtenue en moyennant les taux d'incidence en IPP/IPT de la table réglementaire BCAC 2013 (Bureau Commun d'Assurances des Collectives). D'après le tableau ci-dessus la charge estimée annuelle est d'environ **28 232€**, en rapportant cette charge estimée au coût du traité de réassurance le ratio obtenu est de **92%**. A priori, l'assureur va céder un peu moins de charges que de primes pour cette sous-population portant les plus gros risques en termes de capitaux élevés.

MAV : A ce stade du mémoire, il n'est pas intéressant de calculer cette statistique des sinistres graves a priori puisque les montants garantis ne reflètent pas du tout la réalité. Ce sont des plafonds d'indemnisation inutilisables en l'état.

4.2 Modélisation a priori de la charge de sinistres par Monte Carlo

Principe de base (Pour de plus amples explications des principes de la méthode il est conseillé de se référer au cours [18] et au livre (Kolf & al. 2010) [17])

Objectif : Calcul de l'espérance $\mathbb{E}[X]$ par simulation d'une suite $(X_i)_{i=1,\dots,N}$ de variables aléatoires indépendantes de même loi que X.

- En supposant que $\mathbb{E}[|X|] < \infty$ alors par la Loi Forte des Grands Nombres :
  $\bar{X}_N = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i \longrightarrow \mathbb{E}[X]$, p.s.

- Si de plus, $\sigma^2 = \mathbb{V}[X] < \infty$, alors par le Théorème de la Limite Centrale :
  $\sqrt{N}\frac{\bar{X}_N - \mathbb{E}[X]}{\sigma} \longrightarrow_{Loi} \mathcal{N}(0,1)$

- $\bar{\sigma^2}_N = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(Xi - \bar{X}_N)^2$ est un estimateur sans biais de σ^2

- $\mathbb{E}[X] \in [\bar{X}_N - 1.96\frac{\bar{\sigma}_N}{\sqrt{N}}; \bar{X}_N + 1.96\frac{\bar{\sigma}_N}{\sqrt{N}}]$ est une règle approximative à 95%

- La vitesse de convergence en $\sqrt{N}$ est lente mais indépendante de la dimension

Recontextualisation de la méthode

Pour étudier le risque de pointe pour chaque périmètre, il a été décidé de simuler tête par tête la survenance de la mortalité ou de l'incapacité sur un horizon d'un an, et ce, pour chaque groupe de risque.

Une suite $(X_j)_{j>1} = (x_{1,j}, .., x_{m,j})$ de variables aléatoires indépendantes identiquement distribuées représentant l'état des individus dans le portefeuille est simulée. L'état d'un individu en portefeuille suit une loi de Bernoulli de paramètre p = probabilité d'occurence du sinistre, $x_{i,j} \sim \mathcal{B}(p)$, car l'état de l'individu est soit sinistré avec la probabilité d'occurence p soit valide avec la probabilité 1-p. En réitérant n fois de manière identique et indépendante l'expérience, on obtient une loi Binomiale de paramètre n et p.

Les variables aléatoires $(X_j)_{j>1}$ sont donc supposées suivre une loi binomiale $\mathcal{B}(n,p)$ de paramètres :
n = le nombre d'individus valides en portefeuille
p = la loi d'occurrence du sinistre en question

Cette modélisation permet de tirer au sort aléatoirement les individus sinistrés à partir des lois biométriques de la prévoyance individuelle et d'analyser les montants garantis associés à chaque tête "sinistrée".

Application pratique

Premièrement il faut fixer le nombre de simulations optimal M, par analyse graphique de la convergence de la charge totale moyenne simulée avec Monte Carlo vers la charge totale déterministe, pour chaque groupe de risque.

Ensuite il faut réaliser M simulations (ou tirages aléatoires), où chaque simulation représente un scénario possible de sinistralité à horizon 1 an.

L'algorithme implémenté dans le cadre de ce mémoire renvoie une liste de M tableaux de tailles différentes, où chaque tableau contient le numéro des clients sinistrés et les montants garantis associés.

Le nombre de lignes des tableaux varie en fonction du nombre de sinistres simulés.

A partir de ces M simulations par groupe de risque, il sera possible d'appliquer les couvertures QP par risque et les XS tête par périmètre pour chaque simulation.

Puis en recollant les simulations une à une pour tous les risques, il devient possible d'appliquer la couverture XS tête sur rétention au cumul des risques. En effet, l'identifiant client permet de retracer un assuré sinistré dans la simulation pour le décès toutes causes et dans la simulation pour l'arrêt de travail par exemple.

Ensuite il sera possible d'étudier trois scénarios principaux plus en détail et enfin des indicateurs d'efficacité seront calculés.

4.3 Modélisation du décès toutes causes

Après avoir extrait une base de têtes valides au 31/12/2020, pour le groupe de risque Décès Toutes Causes et garantie accessoire Décès Accidentel (code société 109, BPCE Vie) par réseau, il est alors possible d'utiliser une loi de mortalité, certifiée sur le portefeuille, par réseau qui sera distincte en fonction du risque couvert. C'est-à-dire que pour les garanties DCTC, la loi de mortalité décès toutes causes par réseau, par âge et par sexe sera appliquée aux individus, et pour les garanties accessoires DCAC ce sera la loi de mortalité accidentelle par âge qui sera appliquée.

Banque Populaire

Pour définir le nombre de simulations optimal pour l'année 2021, il faut regarder la convergence de la charge de sinistre moyenne des simulations de Monte Carlo vers la charge de sinistre moyenne déterministe calculée sur l'année 2020.

$$Charge\ déterministe = \sum_{i=1}^{N} q_{x\,i} * CSR_i$$

Où N est le nombre de têtes valides dans le portefeuille DCTC - BP au 31/12/2020,

$q_{x\,i}$ est la probabilité de décès de l'individu i d'âge x,

et CSR_i est le montant des capitaux sous risque pour l'individu i.

Le graphique ci-dessous trace la convergence de la charge de sinistre espérée en fonction du nombre de simulations. Plus le nombre de simulations augmente, meilleure est la convergence vers la charge de sinistre déterministe.

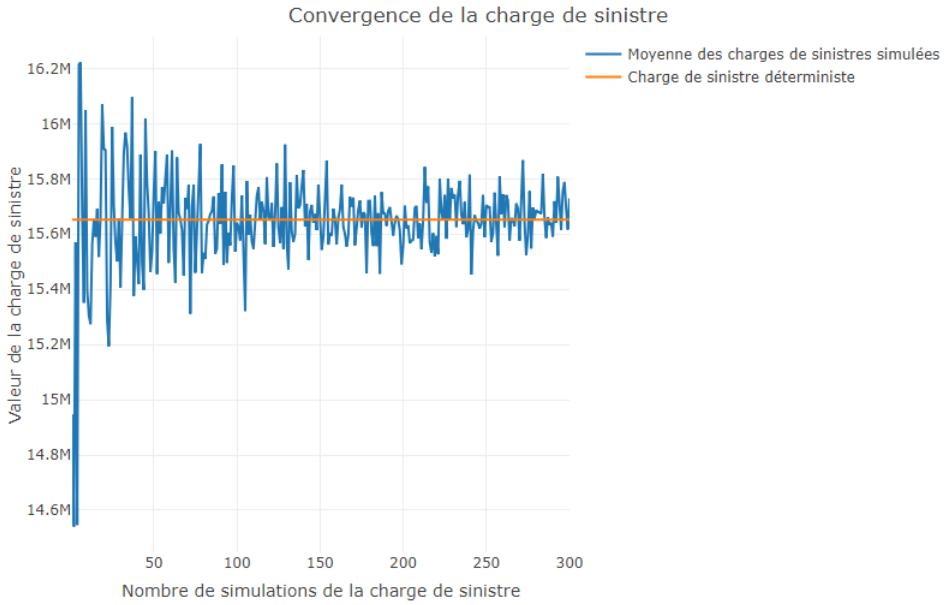

FIGURE 53 – Convergence de la charge de sinistre moyenne DCTC pour le réseau BP vers la charge de sinistre déterministe

Pour le réseau des BP le nombre de simulations optimal sera retenu à **150** car la convergence se stabilise à partir de 150 simulations.

Description des 150 charges simulées

Voici un graphique traçant les charges totales simulées, la charge totale minimale, moyenne et maximale :

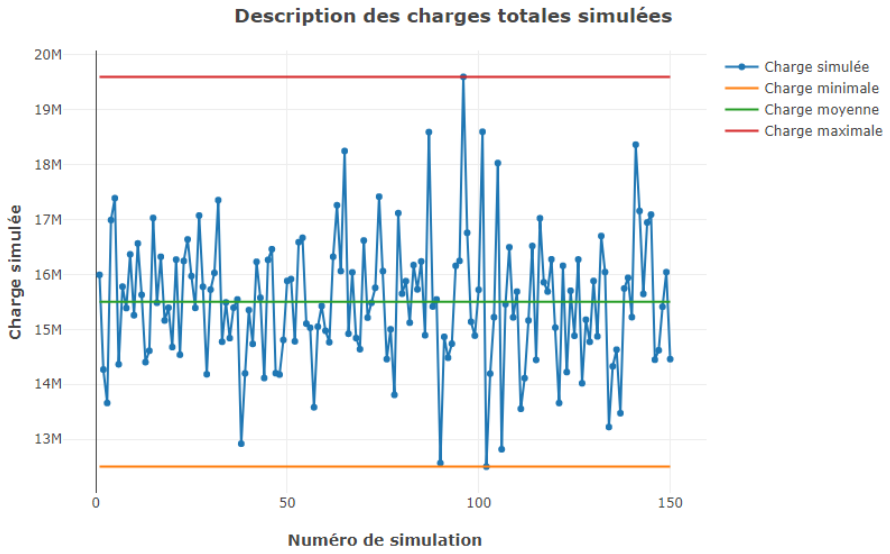

FIGURE 54 – Charges simulées DCTC BP

Les charges totales fluctuent entre 12.5M€ et 19.6M€, avec en moyenne une charge simulée autour de 15.5M€. Ces trois scénarios principaux vont être détaillés :

- Un scénario correspondant à la simulation dont la charge totale est minimale (scénario 1)
- Un scénario correspondant à la simulation dont la charge totale est maximale (scénario 2)
- Un scénario correspondant à la charge totale moyenne de toutes les simulations (scénario 3)

Ce choix de scénario peut être critiqué car les scénarios correspondant aux charges minimale et maximale se produisent qu'une fois sur 150. Ce ne sont pas les scénarios les plus réalistes, mais ils permettent de majorer et minorer la charge totale qui est attendue à horizon 1 an. Le scénario moyen donne quant à lui, une vision plus réaliste de la sinistralité attendue. Ci-dessous la distribution des charges des trois scénarios est décrite à l'aide des quantiles définis aux seuils $1-\alpha$ où $\alpha \in (0.005, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75)$:

Quantiles	Charge de sinistres scénario 1	Charge de sinistres scénario 2	Charge de sinistres scénario 3
Min	€507.55	€507.55	€507.55
quantile 25%	€15,000.00	€15,000.00	€15,000.00
quantile 50%	€15,000.00	€15,000.00	€15,000.00
quantile 75%	€25,000.00	€30,000.00	€25,000.00
quantile 90%	€50,000.00	€50,281.89	€50,000.00
quantile 95%	€51,000.00	€98,022.88	€65,000.00
quantile 99.5%	€162,000.00	€459,906.23	€180,299.47
Max	€250,000.00	€1,500,000.00	€300,000.00

TABLE 41 – Trois scénarios possibles pour le DCTC BP

Le sinistre au coût le plus élevé se trouve logiquement dans le scénario 2 correspondant à la charge totale maximale, et s'élève à 1 500 000€. Les trois scénarios sont assez similaires jusqu'au quantile d'ordre $1-\alpha$ avec $\alpha = 10\%$, les queues de distribution à partir du quantile de seuil $1-\alpha$ avec $\alpha = 5\%$ sont quant à elles très

différentes.
Pour chacun des trois scénarios retenus il est intéressant de voir à quelle fréquence la couverture XS Tête de la section A se serait déclenchée :

Scénario	Nombre de sinistres simulés au total	Nombre de sinistres simulés qui déclenchent l'XS	Fréquence de déclenchement de l'XS tête
scenario 1	553	8	1.4467%
scenario 2	589	19	3.2258%
scenario 3	627	16	2.5518%

Table 42 – Fréquence de déclenchement de la section A - DCTC BP

Dans le 1er scénario, correspondant à la charge totale minimale simulée, il y a 553 sinistres dont 8 qui auraient déclenché l'XS Tête. Pour le 2ème scénario correspondant à la charge totale maximale, 19 sinistres auraient déclenché l'XS Tête sur les 589 sinistres simulés et enfin 16 sinistres sur 627 sinistres auraient déclenché la section A dans le scénario numéro 3 correspondant à la charge totale moyenne simulée.
La fréquence moyenne de déclenchement de l'XS tête sur ces trois scénarios est d'environ 2.4%. Sur le périmètre DCTC des BP il n'est pas rare que la section A s'active, il faut attendre en moyenne entre 2 et 3 sinistres déclenchant l'XS Tête sur 100 sinistres.

Pour compléter l'analyse des charges obtenues à travers les 3 scénarios, le tableau ci-dessous chiffre les montants de charge cédée et indique le taux de cession par couverture QP et XS Tête.

Scénario	Charge totale	Montant total cédé en QP	Taux de cession QP	Montant total cédé en section A	Taux de cession section A
scenario 1	€12,502,263	€1,802,859	14.42%	€483,201	3.86%
scenario 2	€19,598,426	€2,336,828	11.92%	€4,019,574	20.51%
scenario 3	€15,492,948	€2,184,537	14.10%	€929,370	6.00%

Table 43 – Charges cédées a priori, QP et section A - DCTC BP

Le taux de cession en QP varie entre 11.92% et 14.42%, ce qui n'est pas étonnant puisque l'XS Tête se déclenche systématiquement, donc le plafond de la QP est atteint plusieurs fois et le taux de cession effectif devient plus petit que le taux de cession fixé dans le traité à 15%. Concernant la section A, le taux de cession varie entre 3.86% et 20.51%, ce dernier étant logiquement atteint pour le scénario de charge totale maximale.

Caisse d'Epargne

Le nombre de simulation optimal est déterminé par lecture graphique de la convergence des charges de sinistres espérées vers la charge déterministe, comme pour le réseau des Banques Populaires.

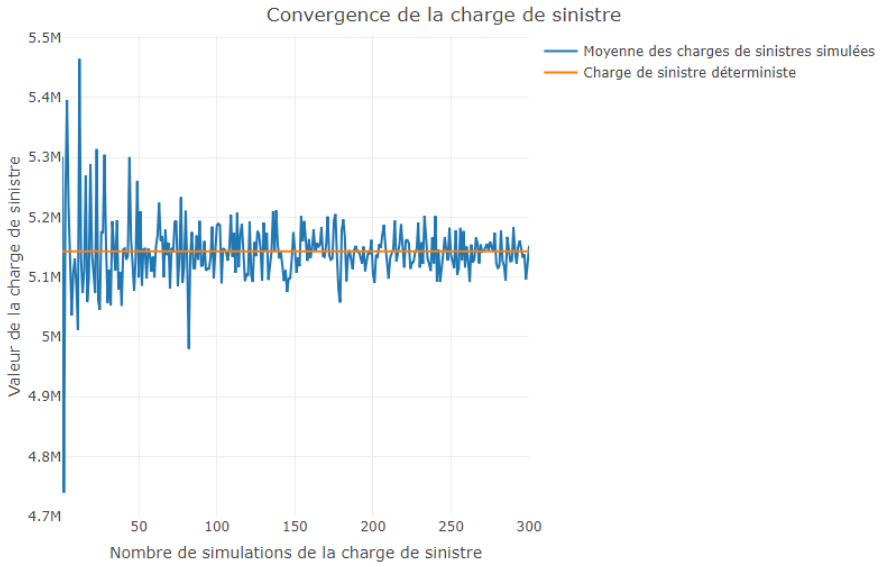

FIGURE 55 – Convergence de la charge de sinistre moyenne DCTC pour le réseau CE vers la charge de sinistre déterministe

Plus le nombre de simulations augmente, meilleure est la convergence vers la charge de sinistre déterministe. Toutefois la convergence se stabilise à partir de 150 simulations. Pour le réseau des CE le nombre de simulations optimal sera donc fixé à **150**.

Description de 3 scénarios parmi les 150 simulations

De la même manière que pour le réseau des Banques Populaires, trois scénarios principaux correspondant aux charges minimale, maximale et moyenne seront étudiés.

Ci-dessous la distribution des charges des trois scénarios est décrite à l'aide des quantiles définis aux seuils $1-\alpha$ où $\alpha \in (0.005, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75)$:

Quantiles	Charge de sinistres scénario 1	Charge de sinistres scénario 2	Charge de sinistres scénario 3
Min	€7,500.00	€500.00	€500.00
quantile 25%	€15,000.00	€15,000.00	€15,000.00
quantile 50%	€15,000.00	€15,000.00	€15,000.00
quantile 75%	€20,000.00	€25,000.00	€22,500.00
quantile 90%	€26,915.53	€31,600.00	€30,000.00
quantile 95%	€40,000.00	€41,544.81	€40,579.02
quantile 99.5%	€82,350.00	€140,500.00	€111,235.00
Max	€150,000.00	€1,711,258.82	€150,000.00

TABLE 44 – Trois scénarios possibles pour le DCTC CE

Le sinistre au coût le plus élevé se trouve logiquement dans le scénario numéro 2 correspondant à la charge totale maximale, et s'élève à 1 711 258€. Les trois distributions sont très similaires jusqu'au quantile de seuil

$1-\alpha$ avec $\alpha = 5\%$ et les queues de distributions diffèrent à partir du quantile de seuil 99.5% .
Pour chacun des trois scénarios retenus il est intéressant de voir à quelle fréquence la couverture XS Tête de la section A se serait déclenchée :

Scénario	Nombre de sinistres simulés au total	Nombre de sinistres simulés qui déclenchent l'XS	Fréquence de déclenchement de l'XS tête
scenario 1	352	2	0.5682%
scenario 2	390	4	1.0256%
scenario 3	383	3	0.7833%

Table 45 – Fréquence de déclenchement de la section A - DCTC CE

Dans le 1er scénario, correspondant à la charge totale minimale simulée, il y a 352 sinistres dont 2 qui auraient déclenché l'XS Tête, pour le 2ème scénario correspondant à la charge totale maximale, il y a 390 sinistres dont 4 déclenchent l'XS Tête et le 3ème scénario correspondant à la charge totale moyenne simulée comporte 383 sinistres dont 3 déclenchent l'XS Tête.
La fréquence moyenne de déclenchement de l'XS tête sur ces trois scénarios est d'environ 0.8%. Le déclenchement de la section A sur le périmètre DCTC des CE est plus rare que pour les BP, il faut attendre en moyenne 8 sinistres déclenchant l'XS Tête sur 1000 sinistres.
Le tableau ci-dessous donne les charges cédées et le taux de cession par couverture QP et XS Tête.

Scénario	Charge totale	Montant total cédé en QP	Taux de cession QP	Montant total cédé en section A	Taux de cession section A
scenario 1	€6,643,587	€988,288	14.88%	€55,000	0.83%
scenario 2	€9,729,041	€1,203,926	12.37%	€1,702,867	17.50%
scenario 3	€7,762,047	€1,148,332	14.79%	€106,500	1.37%

Table 46 – Charges cédées a priori, QP et section A - DCTC CE

Les montants couverts par la section A sont très différents, avec un taux de cession pour le scénario moyen à environ 1.4% et environ 17.5% pour le scénario à la charge de sinistre maximale. Le taux de cession moyen de la charge en section A sur les 3 scénarios est d'environ 6.6%.

Dans le périmètre de risque DCTC et garantie accessoire DCAC, il semblerait que plus la charge de sinistre augmente, plus la charge de sinistre cédée augmente avec une très forte cession en réassurance non proportionnelle.

4.4 Modélisation du décès accidentel

Après avoir extrait une base de têtes valides au 31/12/2020, pour le groupe de risque Décès Accidentel seul (code société 124, BPCE prévoyance), il est alors possible d'utiliser une loi de mortalité accidentelle non différenciée par réseau et par sexe pour simuler les décès à horizon 1 an sur le principe de Monte Carlo. C'est pourquoi l'étude de ce périmètre regroupe les deux réseaux BP et CE.

Réseau BPCE

Pour définir le nombre de simulations optimal pour l'année 2021, il faut regarder la convergence de la charge de sinistre moyenne des simulations vers la charge de sinistre moyenne déterministe calculée sur l'année 2020.

Comme pour le périmètre DCTC le nombre de simulations optimal est déterminé par lecture graphique.

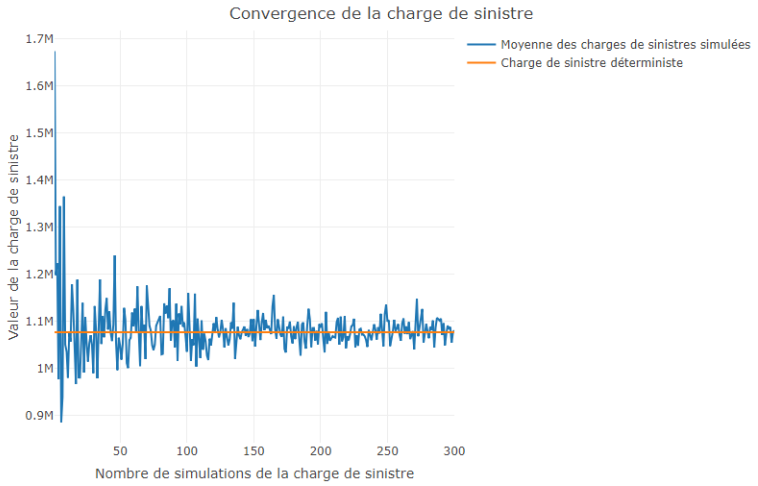

FIGURE 56 – Convergence de la charge de sinistres moyenne DCAC pour BPCE vers la charge de sinistres déterministe

Pour le risque DCAC seul, la charge totale moyenne simulée converge rapidement vers la charge moyenne déterministe, le nombre de simulations optimal est fixé à **150**.

Description des 150 charges simulées

Voici un graphique traçant les charges totales simulées, la charge totale minimale, moyenne et maximale :

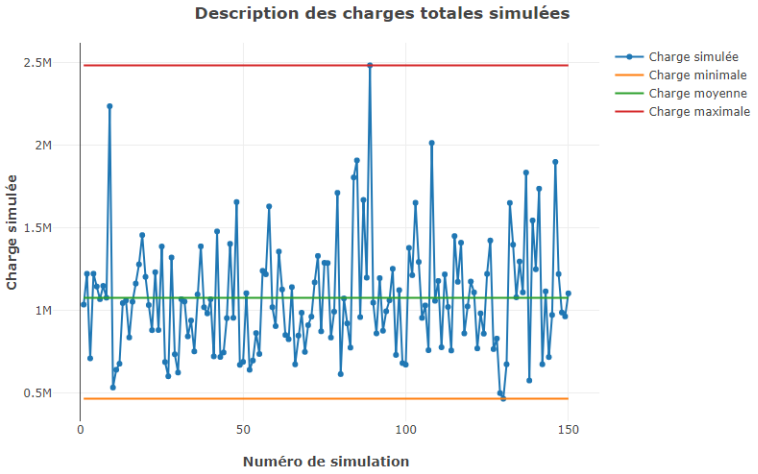

FIGURE 57 – Charges simulées DCAC BPCE

Les charges totales fluctuent entre 0.5M€ et 2.5M€, avec en moyenne une charge simulée autour de 1.1M€.

Les trois scénarios suivants vont être détaillés :

— Un scénario correspondant à la simulation dont la charge totale est minimale (scénario 1)
— Un scénario correspondant à la simulation dont la charge totale est maximale (scénario 2)
— Un scénario correspondant à la charge totale moyenne de toutes les simulations (scénario 3)

Ci-dessous la distribution des charges des trois scénarios est décrite à l'aide des quantiles définis aux seuils $1-\alpha$ où $\alpha \in (0.005, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75)$:

Quantiles	Charge de sinistres scénario 1	Charge de sinistres scénario 2	Charge de sinistres scénario 3
Min	€762.25	€914.69	€750.00
quantile 25%	€1,500.00	€1,829.39	€1,500.00
quantile 50%	€1,524.50	€15,000.00	€12,500.00
quantile 75%	€25,916.33	€38,682.56	€50,000.00
quantile 90%	€50,000.00	€100,000.00	€50,000.00
quantile 95%	€70,979.61	€150,000.00	€128,054.84
quantile 99.5%	€104,186.94	€859,375.00	€181,602.32
Max	€108,000.00	€1,000,000.00	€183,396.35

Table 47 – Trois scénarios possibles pour le DCAC

Le sinistre au coût le plus élevé se trouve dans le scénario 2 correspondant à la charge totale maximale, et s'élève à 1 000 000€. Le scénario à la charge totale minimale semble être le plus homogène des trois.
Pour chacun des trois scénarios retenus il est intéressant de voir à quelle fréquence la couverture XS Tête de la section A se serait déclenchée :

Scénario	Nombre de sinistres simulés au total	Nombre de sinistres simulés qui déclenchent l'XS	Fréquence de déclenchement de l'XS tête
scenario 1	37	0	0.0000%
scenario 2	45	3	6.6667%
scenario 3	44	2	4.5455%

Table 48 – Fréquence de déclenchement de l'XS Tête DCAC

Dans le 1er scénario, correspondant à la charge totale minimale simulée, il n'y a aucun sinistre sur les 37 simulés qui aurait déclenché l'XS Tête. Pour le 2ème scénario, 3 sinistres auraient déclenché l'XS Tête sur les 45 sinistres simulés et enfin 2 sinistres sur 44 sinistres auraient déclenché la section A dans le scénario numéro 3 correspondant à la charge moyenne.
La fréquence moyenne de déclenchement de l'XS tête sur ces trois scénarios est d'environ 3.7%. Sur le périmètre DCAC la fréquence d'activation de la section A est plutôt élevée, en effet il faut attendre en moyenne entre 3 et 4 sinistres déclenchant l'XS Tête sur 100 sinistres. Cette fréquence est supérieure à celle obtenue pour le DCTC des BP.

Pour compléter l'analyse des charges obtenues à travers les 3 scénarios, le tableau ci-dessous chiffre les montants de charge cédée et indique le taux de cession par couverture QP et XS Tête.

Scénario	Charge totale	Montant total cédé en QP	Taux de cession QP	Montant total cédé en section A	Taux de cession section A
scenario 1	€483,623	€362,717	75.00%	€0	0.00%
scenario 2	€3,497,133	€735,174	21.02%	€2,516,900	71.97%
scenario 3	€1,066,533	€723,769	67.86%	€101,508	9.52%

Table 49 – Charges cédées a priori, QP et section A - DCAC

Le taux de cession en QP varie entre 21.02% et 75%. Pour le scénario 2 l'XS Tête s'est déclenché pour 3 gros sinistres, donc le plafond de la QP a été atteint plusieurs fois sur des montants conséquents, il est alors normal que le taux de cession effectif devienne plus petit que le taux de cession fixé dans le traité à 75%. Pour le scénario 1, l'XS Tête ne s'étant pas déclenché, le taux de cession en QP est le même que celui fixé dans le traité. Concernant la section A, le taux de cession varie entre 0% et 72%, ce dernier étant logiquement atteint pour le scénario de charge totale maximale. Pour le scénario 2, le taux de cession global s'élève à environ 93% de la charge totale, il y a donc une très forte cession dans le pire scénario ayant la charge totale la plus élevée.

Les résultats pour ce périmètre de risque sont plutôt instables en terme de charges cédées, il est à la fois possible de ne céder que très peu de charges comme pour le scénario 1 et à la fois possible de céder de très gros montants de sinistres comme pour le scénario 2. Pour savoir si ces couvertures sont à l'avantage de la cédante il faut confronter les charges cédées aux primes cédées. Cela sera fait ultérieurement, une fois que l'assiette de prime 2021 sera modélisée.

4.5 Modélisation de l'arrêt de travail

Après avoir extrait une base de têtes valides au 31/12/2020, pour le groupe de risque Arrêt de Travail (code société 124, BPCE prévoyance), il est alors possible d'utiliser une loi d'incidence en AT non différenciée par réseau ni par sexe ni même par âge. C'est pourquoi l'étude de ce périmètre regroupe également les deux réseaux BP et CE.

Les montants garantis en AT sont retraités pour rendre compte de la durée d'incapacité, en effet la plupart des montants garantis sont des indemnités mensuelles qu'il a été décidé de multiplier par la durée moyenne d'incapacité obtenue à partir des données d'expérience des sinistres.

Réseau BPCE

Pour définir le nombre de simulations optimal pour l'année 2021, il faut regarder la convergence de la charge de sinistre moyenne des simulations vers la charge de sinistre moyenne déterministe calculée sur l'année 2020.

$$Charge\ déterministe = \sum_{i=1}^{N} taux\ incidence * CSR_i$$

Où N est le nombre de têtes valides dans le portefeuille AT au 31/12/2020,

taux incidence est la probabilité d'entrée en incapacité ou en invalidité,

et CSR_i est le montant des capitaux sous risque pour l'individu i, lorsque ce montant est mensuel il est multiplié par la durée moyenne en incapacité.

Le graphique ci-dessous trace la convergence de l'espérance de la charge de sinistre AT simulée en fonction du nombre de simulations. Plus le nombre de simulations augmente, meilleure est la convergence vers la charge de sinistre déterministe.

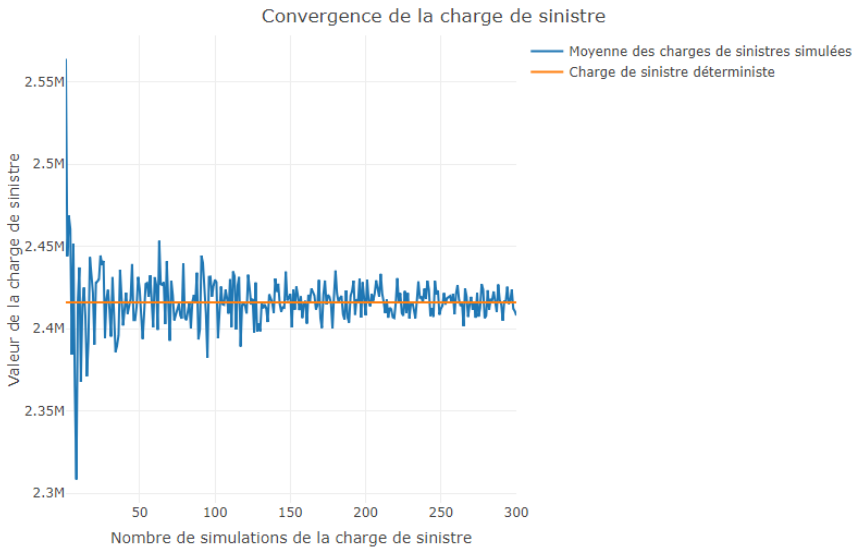

FIGURE 58 – Convergence de la charge de sinistres moyenne AT pour BPCE vers la charge de sinistres déterministe

Pour le risque AT, la convergence est très rapide, le nombre de simulations retenu sera fixé à **150**.

Description des 150 charges simulées

Voici un graphique traçant les charges totales simulées, la charge totale minimale, moyenne et maximale :

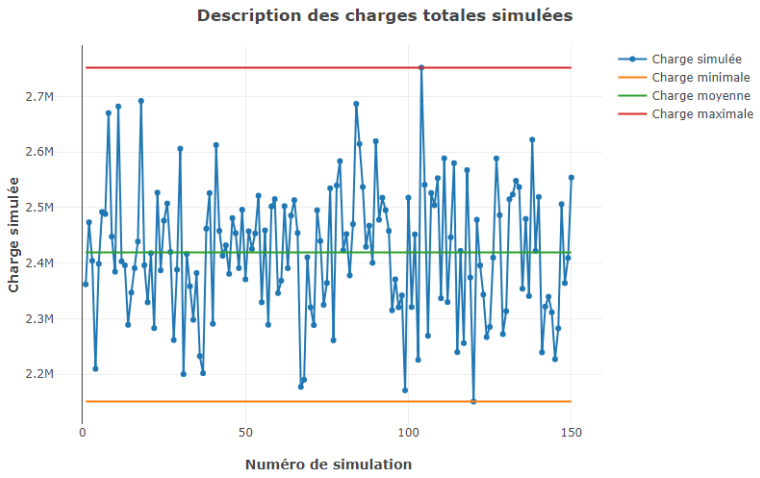

FIGURE 59 – Charges simulées AT - BPCE

Les charges totales fluctuent entre 2.1M€ et 2.75M€, avec en moyenne une charge simulée autour de 2.3M€. Les trois scénarios suivants vont être sélectionnés :

— Un scénario correspondant à la simulation dont la charge totale est minimale (scénario 1)
— Un scénario correspondant à la simulation dont la charge totale est maximale (scénario 2)
— Un scénario correspondant à la charge totale moyenne de toutes les simulations (scénario 3)

Dans les trois scénarios il y a entre 581 et 651 sinistres simulés mais aucun ne déclenche l'XS tête de la section A, donc il n'est pas utile d'analyser la charge cédée en réassurance par couverture puisque celle-ci se limite à la QP de 50%, puisque le plafond de la QP n'est jamais atteint. Ceci n'est pas surprenant et est en ligne avec les résultats de l'étude a posteriori.

Scénario	Nombre de sinistres simulés au total	Nombre de sinistres simulés qui déclenchent l'XS	Fréquence de déclenchement de l'XS tête
scenario 1	581	0	0.0000%
scenario 2	651	0	0.0000%
scenario 3	601	0	0.0000%

TABLE 50 – Fréquence de déclenchement de l'XS Tête AT

4.6 Modélisation des multirisques accidents de la vie

Problématique de modélisation :

Au contraire des autres périmètres de risque en prévoyance individuelle, le montant versé en cas de sinistre MAV n'est pas égal au montant garanti prévu au contrat. Dans la base portefeuille historique, la variable indiquant le montant garanti, renseigne, en réalité, le plafond d'indemnisation, qui n'est dans les faits presque jamais atteint.

Il n'est donc pas possible d'appliquer la méthode de Monte Carlo directement aux données en l'état sur ce périmètre. En effet, il faut d'abord modéliser le coût des sinistres afin de recalculer des montants garantis en cas de sinistres MAV. Cette problématique de prédiction des montants de sinistres tête par tête MAV est une problématique de régression.

Pour ce faire, en disposant des données comptables sur les sinistres passés, il est possible d'utiliser une méthode de régression pour apprendre de la sinistralité d'expérience et prédire ensuite les montants garantis tête par tête sur la base portefeuille des personnes valides.

4.6.1 Régression

Objectif : modéliser la valeur d'une variable y en fonction des valeurs de m variables $(x^{(1)}, ..., x^{(m)})$

- y est la variable « réponse » (« expliquée »)
- $(x^{(1)}, ..., x^{(m)})$ sont les « co-variables » (« explicatives »)

Dans cette étude, y est le coût d'un sinistre futur et $(x^{(1)}, ..., x^{(m)})$ sont les caractéristiques de la police d'assurance (âge de l'assuré, ancienneté, prime annuelle etc..)

Les valeurs de y et x = $(x^{(1)}, ..., x^{(m)})$ sont modélisées à l'aide d'un couple de variables aléatoires (Y,X) avec X = $(X^{(1)}, ..., X^{(m)})$

Dans ce cadre, la régression vise notamment à déterminer :

- L'espérance conditionnelle $\mathbb{E}(Y|X = x)$
- La variance conditionnelle $\mathbb{V}(Y|X = x)$
- La loi conditionnelle Loi(Y | X = x)

La modélisation est basée sur un jeu de données constitué d'observations conjointes des valeurs de y et de x = $(x^{(1)}, ..., x^{(m)})$

Hypothèse : les réponses $(y_i)_{i=1,...,N}$ sont modélisées comme étant issues d'une suite de variables aléatoires indépendantes $Y_1, .., Y_N$ telles que Y_i ∼Loi(Y |X = x_i).

Il existe plusieurs méthodes de régression comme les modèles linéaires, les modèles linéaires généralisés (GLM), les arbres de régression, etc.

Démarche :

1. Ajuster un modèle de régression aux données
2. Effectuer des prédictions à l'aide d'un modèle
3. Evaluer la qualité d'un modèle
4. Comparer des modèles entre eux

L'idée est de faire une régression sur la base comptable des sinistres passés MAV, pour prédire les montants de sinistres probables dans la base portefeuille contenant les données sur les assurés encore valides (base *solvency*).

Cela impose une condition sur les variables explicatives, en effet elles doivent être communes aux deux bases. Parmi les variables communes aux deux bases il y a :

— Le sexe de l'assuré

— La date de naissance de l'assuré utile pour calculer l'âge de l'assuré

— Le risque couvert, Décès ou IPP

La date d'effet du contrat utile pour calculer une ancienneté et le montant de prime annuelle hors taxe ont été ajoutés à la base comptable à l'aide d'une jointure afin d'obtenir plus d'informations sur les assurés sinistrés et d'améliorer la régression.

4.6.2 Prédiction des prestations futures avec un modèle GLM

Les GLM ont fait leur apparition dans [21] (Nelder & Wedderburn, 1972). Ils sont adaptés à de nombreuses problématiques et sont d'utilisation courante dans le domaine de la statistique et de l'actuariat.

Un modèle linéaire généralisé est constitué de trois composantes essentielles :

- une composante systématique : fonction affine des variables explicatives x = $(x^{(1)}, ..., x^{(m)})$
- une composante aléatoire : spécification du type de Loi(Y |X = x), au sein de la famille exponentielle
- une fonction de lien : spécification de la relation entre $\mathbb{E}(Y|X = x)$ et la composante systématique du modèle

Structure d'un GLM :

Dans un modèle linéaire généralisé, on suppose que Loi(Y|X = x) est donnée par une loi de la famille exponentielle.

Famille exponentielle :

Une loi de probabilité sur $\mathbb{R}$ (discrète ou continue) appartient à la famille exponentielle si elle possède une densité de la forme :

$$f(y) = c(y, \phi).exp(\frac{y\theta - b(\theta)}{\phi})$$

où $\phi > 0$, $\theta \in \mathcal{I}$ et $b : \mathcal{I} \subset \mathbb{R} \to \mathbb{R}$ supposée régulière sur l'intervalle $\mathcal{I}$.

Exemples classiques :

- Loi normale $\mathcal{N}(m, \sigma^2)$
- Loi de Poisson $\mathcal{P}(\lambda)$
- Loi Gamma $\mathcal{G}(k, \alpha)$
- Loi Binomiale $\mathcal{B}(n, p)$

Expression pour l'espérance et la variance :

Si Y suit la loi associée à $b(.), \theta$, et ϕ,

$$\mathbb{E}(Y) = b'(\theta)$$
$$\mathbb{V}(Y) = b"(\theta)\phi$$

Le modèle peut être reparamétré en fonction de $\mu = \mathbb{E}(Y)$ en posant :

$$\theta = (b')^{-}1(\mu)$$
$$\mathbb{V}(Y) = (\mu) \text{ où } v(\mu) = b"((b')^{-1}(\mu))$$

La loi de Y est entièrement caractérisée par (μ, ϕ) et $v(.)$, et est alors notée $\mathcal{L}_v(\mu, \phi)$.

Si $Y \sim \mathcal{L}_v(\mu, \phi)$: l'espérance de Y vaut μ et la variance de Y vaut $\phi v(\mu)$

La structure d'un GLM est la suivante :

$$g(\mathbb{E}(Y|X = x)) = g(\mu) = \sum_{j=0}^{d} \beta_j x^{(}j)$$

- La fonction g est la fonction de lien du modèle

- Les variables $(x^{(1)}, ..., x^{(d)})$ encodent les variables explicatives $(x^{(1)}, ..., x^{(m)})$

- Les nombres $(\beta_0, ..., \beta_d)$ sont les coefficients du modèle

L'approche GLM impose de faire une hypothèse sur la forme de la loi conditionnelle de la variable expliquée en fonction des variables explicatives. **Comme dans cette étude la variable réponse est le coût de sinistre futur, qui est une variable continue positive, la composante aléatoire retenue pour le modèle GLM est la loi Gamma $\mathcal{G}(k, \alpha)$.**

Ainsi, $Y \sim \mathcal{G}(k, \alpha)$ avec les caractéristiques suivantes :

$$\mu = k\alpha$$
$$\phi = 1/k$$
$$v(\mu) = \mu^2$$
$$\theta = -1/\mu$$
$$b(\theta) = -log(-\theta)$$

Ci-dessous le graphique représente l'allure d'une loi Gamma de paramètre $k = 5$ et $\alpha = 3$:

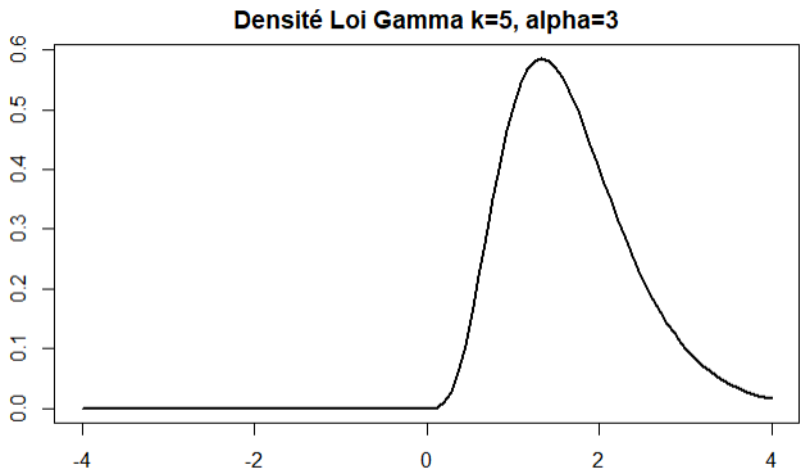

FIGURE 60 – Exemple de loi Gamma

Cette allure convient parfaitement pour modéliser une variable continue positive comme un montant de sinistre.

Limites de l'approche classique :

Les modèles GLM classiques nécessitent de disposer d'un échantillon de taille n relativement importante et que le nombre p de variables explicatives ne soit pas « trop » grand.

Dans cette étude, la base comptable MAV comporte environ 6000 sinistres survenus et provisionnés dont 2500 réglés, ce qui semble a priori convenable. Par ailleurs les variables explicatives sélectionnées sont au nombre de 5 ce qui n'est pas excessif.

Dans la logique de la théorie de l'apprentissage les données sont séparées aléatoirement en deux, avec un échantillon d'apprentissage représentant 80% des observations comptables et un échantillon de validation contenant les 20% restant, soit 500 observations, ce qui est très faible.

4.6.3 Prédiction des prestations futures à l'aide du machine learning

Théorie de l'apprentissage

La statistique classique nécessite de formuler des hypothèses sur la distribution des données. La théorie de l'apprentissage statistique ne formule qu'une seule hypothèse : les données à prédire Y sont générées de façon identique et indépendante par un processus à partir du vecteur des variables explicatives X.

Un algorithme d'apprentissage va apprendre à prédire la valeur de Y en fonction des valeurs explicatives X (i.e. $\mathbb{E}[Y|X]$). Le résultat de cet apprentissage est une fonction $f(X, c)$ qui fait intervenir les variables X et un paramètre de complexité c. Ce paramètre désigne par exemple le nombre de nœuds dans un arbre de décision.

Il faut disposer d'une base d'apprentissage et d'une base de validation afin d'entraîner correctement un modèle.

- La base d'apprentissage ("*training set*" ou "Base *train*") : constituée de 70% à 80% des données pour entraîner le modèle.

- La base de test ("*test set*" ou "Base *test*") : constituée de 20% à 30% des données pour tester les performances du modèle.

Il est important de bien définir la taille des deux bases de données, car une base d'apprentissage trop petite apprendra moins bien qu'une base d'apprentissage plus riche. Cependant, une base de test trop petite n'offrira pas assez de données afin de tester la performance du modèle.

Dans le cas d'une régression, le modèle retourne une valeur pour chaque ligne, il s'agit d'une valeur prédite (ou estimée). L'évaluation de l'efficacité du modèle peut être faite en regardant l'écart entre la valeur réelle et la valeur estimée, par exemple, avec une métrique de type Root-Mean-Square Error (RMSE) ou bien un ratio valeur observée (valeur estimée) sur valeur attendue (valeur réelle).

Avec l'apprentissage supervisé il y a trois cas de figure :

- L'apprentissage : Il s'agit de modéliser les régularités "réelles" qui sont présentes dans les données, c'est donc une modélisation pertinente.
- Le sur-apprentissage : Il s'agit de modéliser les régularités "accidentelles" (les spécificités) présentes dans l'échantillon d'apprentissage. Ainsi, le modèle prédictif s'adaptera très bien aux données d'apprentissage mais il ne pourra pas bien prédire à partir d'autres données.
- Le sous-apprentissage : Il s'agit de ne pas correctement modéliser, il en résulte un mauvais apprentissage des données par l'algorithme.

Voici une liste non exhaustive de méthodes d'apprentissage supervisé :

- Arbre de décision
- Bagging
- Random Forest
- Boosting
- Gradient Boosting
- XGBoost

Le biais et la variance des modèles de Machine Learning :

- Le biais : C'est l'espérance de la différence entre la prédiction obtenue par le modèle et les vraies valeurs : $Biais(\hat{f}(x)) = \mathbb{E}(\hat{f}(x) - f(x))$.
- La variance : C'est la variabilité des prédictions du modèle pour des observations données : $Var(\hat{f}(x)) = \mathbb{E}(\hat{f}(x)^2) - \mathbb{E}(\hat{f}(x))^2$.
- Compromis biais/variance : Plus un modèle est complexe, plus il arrive à capter la variance de la base d'apprentissage mais donc plus il risque de sur-apprendre et ainsi d'augmenter le biais lors de l'application du modèle sur la base de test.

L'erreur d'un modèle peut être défini de la façon suivante : $Err(x) = Biais^2 + Variance + Erreur\ irréductible$. L'objectif est de minimiser cette erreur en tenant compte du comportement du biais et de la variance. En effet, ces deux éléments varient de manière opposée en fonction de la complexité du modèle.

Une bonne introduction au Machine Learning est fournie par la présentation suivante [9] (CLEMENÇONS S.).

Arbre de décision CART (Breiman et al.,1984 [5])

La méthode CART (Classification And Regression Tree) consiste à construire un arbre binaire. A chaque nœud, l'algorithme recherche la séparation qui maximise le gain de variance, de sorte que la somme des variances dans les groupes des nœuds "fils" soit plus faible que la variance du nœud "père". A l'intérieur de chaque nœud, la grandeur modélisée (dans cette étude, le montant de sinistre) est estimée par son espérance empirique. Cette méthode permet d'ordonner les variables des plus influentes en haut de l'arbre aux moins influentes en bas. La complexité de l'arbre via le nombre de nœuds maximum et l'effectif minimum dans chaque nœud sont à déterminer. C'est une méthode d'apprentissage non-paramétrique et non-linéaire.

L'arbre optimal sur l'échantillon d'apprentissage n'est pas forcément le meilleur pour la prédiction.

Les montants de sinistres obtenus par une méthode de type CART présentent une structure arborescente.

Les avantages de ce type de modèles sont :

- La simplicité d'interprétation.
- La rapidité d'entraînement.

Néanmoins, ce type de modèle peut très vite mener à un sur-apprentissage des données, il prédira parfaitement les données sur lesquelles il s'entraînera mais aura plus de mal à prédire d'autres données. Ainsi, les arbres de décision sont rarement utilisés seuls, ils sont souvent regroupés, par exemple, pour la création d'une forêt aléatoire.

Random forest

Leo BREIMAN (Breiman et al.,1984 [5]) a eu l'idée d'utiliser plusieurs arbres dans le but de créer des forêts d'arbres aléatoires afin de réduire les défauts des arbres de décision. Les forêts aléatoires peuvent donc être utilisées en classification et en régression comme les arbres CART.

Les *Random Forest* modifient la façon d'apprendre des arbres afin que les prédictions résultant de tous les arbres et de toutes les branches soient moins corrélées, il s'agit d'un simple ajustement. Dans les arbres de décision, en arrivant à un noeud, l'algorithme d'apprentissage est autorisé à parcourir toutes les variables et toutes les valeurs que peuvent prendre les variables afin de sélectionner la segmentation optimale. La méthode *Random Forest* modifie cette procédure afin que l'algorithme d'apprentissage soit limité à un échantillon aléatoire de variables à parcourir, c'est à dire, il n'aura pas accès à toutes les variables.

Le nombre de variables pouvant être recherchées à chaque noeud doit être spécifié en tant que paramètre de l'algorithme. Pour la régression, une bonne valeur par défaut est : $m = \frac{p}{3}$, où m est le nombre de variables sélectionnées au hasard qui peuvent être recherchées à un noeud et p est le nombre de variables d'entrée.

Les *Random Forest* permettent, en utilisant plusieurs arbres de décision, de diminuer la variance des prévisions d'un seul arbre de décision par l'introduction de facteurs aléatoires dans leur construction. En combinant les arbres, les *Random Forest* permettent d'augmenter leur performance et de diminuer leur sur-ajustement aux données. Cet algorithme consiste à effectuer un apprentissage sur un grand nombre d'arbres de décision qui ont été construits aléatoirement et entraînés sur des échantillons de données différents. Pour les *Random Forest*, les échantillons comprennent tous n données comme l'échantillon d'origine mais il y a plusieurs lignes identiques et certaines lignes de l'échantillon d'origine ne sont pas présentes car il s'agit d'un tirage des données avec remise.

La méthode Random Forest est bien plus efficace que la méthode de l'arbre de décision unique. Mais pour que le *Random Forest* soit efficace, il faut que les arbres de décision soient performants individuellement et qu'ils soient assez différents les uns des autres dans le but de se compléter.

Boosting

Le mot "*boosting*" représente la transformation de plusieurs prédicteurs "faibles" en prédicteurs "forts", il s'agit d'une méthode non-linéaire très performante. Le *boosting* permet de réduire le biais des algorithmes sur lesquels il s'appuie. En effet, le *boosting* regroupe beaucoup d'algorithmes s'appuyant sur des ensembles de classifieurs binaires, il permet d'optimiser les performances de ces algorithmes. C'est une technique itérative permettant d'approcher la solution d'un problème d'optimisation. En effet, en apprentissage supervisé, les modèles sont souvent construits en déterminant les paramètres qui permettent d'optimiser une fonction objectif. Le *boosting* consiste en la combinaison de ces classifieurs faibles. Ainsi, par des itérations successives, la connaissance d'un classifieur faible s'ajoute au classifieur final qui est plus efficace. Les classifieurs sont pondérés par la qualité de leur classification, i.e., plus il est efficace, plus il aura un poids important dans le classifieur final.

Au vu des définitions respectives du *bagging* et du *boosting*, il ressort que ces deux méthodes se ressemblent. En effet, elles sont toutes les deux basées sur la combinaison de classifieurs faibles dans le but de créer un classifieur plus performant. Par ailleurs, afin d'utiliser une de ces méthodes, il faut choisir un algorithme d'apprentissage de base (le classifieur faible).

Cependant, elles ont des différences. En effet, dans le cas du *bagging*, n'importe quel élément a la même probabilité d'apparaître dans le nouvel échantillon d'apprentissage. A contrario, pour le *boosting*, les observations sont associées à un poids, ainsi, certaines d'entre elles seront présentes plus souvent dans les nouveaux échantillons.

Alors que l'étape d'apprentissage se fait en parallèle pour le *bagging*, i.e., chaque modèle est construit indépendamment des autres, pour le *boosting*, chaque classifieur est entraîné sur des données en tenant compte du

succès des précédents modèles, après chaque étape d'entraînement, les poids sont redistribués. Ainsi, le poids des données mal classées est augmenté de manière à ce que les modèles suivants se concentrent sur ces données durant leur entraînement.

Afin de prédire de nouvelles données, il suffit d'appliquer les N apprenants créés à ces données. Pour le *bagging*, la prédiction est obtenue en faisant la moyenne des réponses des N apprenants. Le *boosting*, quant à lui, attribue un deuxième ensemble de poids, cette fois-ci, pour les N classifieurs, afin de prendre une moyenne pondérée de leurs estimations. Un classifieur prédisant bien les résultats aura un poids plus élevé qu'un mauvais classifieur.

Les deux techniques permettent de réduire la variance, cependant, seul le *boosting* essaie de réduire le biais et seul le *bagging* peut résoudre un problème de sur-apprentissage alors que le *boosting* peut, au contraire, l'augmenter.

Gradient Boosting

Souvent, les équations ne sont pas linéaires. Les logiciels calculent les estimations en utilisant des algorithmes dits itératifs. Parmi ces algorithmes, le plus connu et le plus utilisé est celui de Newton-Raphson [24], il approxime le logarithme de la fonction de vraisemblance par une fonction polynomiale, qui a la forme d'une parabole concave, dans un voisinage du paramètre initial. Les approximations successives de cet algorithme itératif convergent rapidement vers les estimations au sens du maximum de vraisemblance. De plus, chaque étape de cet algorithme constitue un ajustement de type "moindres carrés pondérés".

Le *gradient boosting* est une technique utile pour les problèmes de régression et de classification. Elle utilise la "descente de gradient" et le *boosting*. La descente de gradient est une technique permettant d'approximer la solution d'un problème d'optimisation avec une approche itérative. Cette problématique revient à minimiser la fonction de perte notée $j(y, h(x))$.

Le *gradient boosting* permet de produire un modèle de prédiction sous la forme d'un ensemble de modèles de prédiction dits "faibles" (il s'agit généralement d'arbres de décision). Les modèles sont construits étape par étape comme pour les autres méthodes de *boosting* et il les généralise en permettant l'optimisation d'une fonction de perte arbitrairement différentiable. C'est une méthode qui permet de nombreux choix de pertes et de nombreux choix d'apprenants faibles.

Une fonction de coût à minimiser, est définie de la façon suivante : Soit S un ensemble de n observations : $S = x_1, x_2, \ldots, x_n$, les données de S sont labellisées par le vecteur $Y = y_1, y_2, \ldots, y_n$. Si h est la fonction d'hypothèse qui cherche à approximer le vecteur Y, alors la fonction de coût J est définie comme suit :

$$J(h) = \sum_{i=1}^{n} j(y_i, h(x_i))$$

Dans le cas du *boosting*, la notion d'erreur est représentée par la notion de coût. Pour les méthodes classiques, c'est l'écart entre la fonction d'hypothèse h et la cible Y qui est qualifiée d'erreur. A contrario, pour le *boosting*, les résultats de chaque nouvelle fonction d'hypothèse h_i sont comparés aux résidus qui ont été "laissés" par h_{i-1}. Il s'agit donc de construire itérativement B fonctions d'hypothèse h qui vont ensuite être assemblées dans l'algorithme final H. La première fonction d'hypothèse h_1 va réaliser un premier apprentissage des données, à ce stade, H sera égale à h_1, puis, h_2 va tenter d'améliorer la fonction H telle que :

$$\forall i \in \{1, \ldots, n\}, H(x_i) + h_2(x_i) \approx y_i \iff h_2(x_i) \approx y_i - H(x_i).$$

Le rôle de h_2 est bien d'approximer les données d'entrée par rapport aux erreurs de h_1. Par ailleurs, le terme $y_i - H(x_i)$ correspond aux résidus de l'étape précédente. Pour exprimer ce terme comme un gradient négatif d'une certaine fonction de coût, il suffit d'utiliser la fonction de coût des moindres carrés pour un problème de régression :

$$j(y_i, H(x_i)) = \frac{(y_i - H(x_i))^2}{2},$$

$$J = \sum_{i=1}^{n} j(y_i, H(x_i)).$$

Ensuite le gradient de J par rapport à $H(x_i)$ s'écrit :

$$\frac{\partial J}{\partial H(x_i)} = \frac{\partial \sum_k j(y_k, H(x_k))}{\partial H(x_i)} = H(x_i) - y_i.$$

Ainsi, h_2 doit minimiser la fonction de coût J. La descente de gradient est utilisée à chaque itération permettant de construire une nouvelle fonction d'hypothèse h_i. Les résidus s'expriment donc comme le gradient négatif de J.

Ensuite, H est construit itérativement en mettant à jour la fonction H de la manière suivante :

$$H(x_i) := H(x_i) - \frac{\partial J}{\partial H(x_i)}, \forall i \in \{1, \ldots, n\}.$$

L'idée du *gradient boosting* est donc de remplacer la minimisation exacte par un "*gradient step*" puis d'approximer celui-ci par un élément de H.

Ce sont les "*outliers*" dans les données, s'il y en a, qui vont conditionner le choix de la fonction de coût. Les *outliers*, également appelés "données aberrantes", sont des données qui ne sont pas proches des autres. Utiliser la descente de gradient permet l'utilisation de multiples fonctions de coût. Par ailleurs, même si nous souhaitons traiter un problème de classification avec un *gradient boosting*, le modèle utilisera des algorithmes de régression faibles.

Le *gradient boosting* est donc une méthode extrêmement performante qui permet beaucoup de choses. Cependant, l'un de ses défauts est le temps qu'il prend pour s'entraîner.

Pour plus de détails concernant le *gradient boosting*, le lecteur est invité à regarder le livre référencé [6] dans la bibliographie.

Extreme Gradient Boosting - XGBoost

L'*Extreme Gradient Boosting* (XGBoost) est une implémentation spécifique de la méthode *gradient boosting* mais il utilise des approximations plus précises pour trouver le meilleur modèle d'arbre. Il apporte de nouveaux éléments par rapport au *gradient boosting* :

- Il permet de calculer des gradients du second ordre, c'est-à-dire, des dérivées secondes partielles de la fonction de perte (similaire à la méthode de Newton-Raphson). Cela fournit plus d'informations sur la direction des gradients et comment atteindre le minimum de la fonction de perte. Tandis que le *gradient boosting* basique utilise la fonction de perte du modèle de base comme proxy pour minimiser l'erreur globale du modèle, le XGBoost utilise la dérivée du second ordre comme approximation.
- L'implémentation du XGBoost est parallèle, cela permet de l'entraîner beaucoup plus vite.
- Il permet, par exemple, l'utilisation de modèles linéaires comme algorithmes faibles alors que le *gradient boosting* ne permet d'implémenter que des algorithmes de régression.

Le XGBoost s'attaque au principal soucis du *gradient boosting*. En effet, le *gradient boosting* tient compte de la perte potentielle de tous les *splits* possibles avant de créer une nouvelle branche à l'arbre. Le XGBoost, quant à lui, examine la distribution des variables sur toutes les données d'un noeud et utilise ces informations pour réduire l'espace de recherche des *splits*.

Le XGBoost permet d'étudier rapidement de nombreux hyperparamètres conçus pour limiter le sur-apprentissage des données. En effet, le fait de regrouper beaucoup de modèles faibles cause du sur-apprentissage. Ainsi, le paramétrage est assez complexe avec ces algorithmes et il est important de bien les paramétrer afin d'éviter le sur-apprentissage.

Après la création des modèles, il est nécessaire de les évaluer afin de les valider ou non. En effet, il ne va pas être difficile de construire un modèle qui saura bien prédire ses données d'apprentissage étant donné qu'il s'est appuyé sur celles-ci lors de sa construction. Ce qui va être plus complexe, c'est de créer un modèle pouvant prédire correctement des données qu'il ne connaît pas, il faut que le modèle soit capable de se généraliser.

4.6.4 La Root-Mean-Square Error

La RMSE permet d'obtenir une indication quant à la dispersion ou la variabilité de la prédiction d'un modèle, et peut donc être reliée à la variance du modèle ou plutôt à son écart-type. Il faut, cependant, faire attention à l'évaluation de sa valeur. Par exemple, une RMSE de 20 est relativement faible si la moyenne des observations est de 700. En revanche, un modèle a une variance élevée s'il a une RMSE de 20 et que la moyenne des observations est de 25. En effet, dans le premier cas, la RMSE du modèle correspond à seulement 3% de la moyenne des observations alors que, dans le second cas, la RMSE correspond à 80% de la moyenne des observations.

La RMSE s'écrit ainsi : $\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}$.

La RMSE est un indicateur important pour les modèles de régression en *Machine Learning*, elle correspond à une indication agrégée de l'erreur de prédiction. C'est cette méthode, en particulier, qui a permis d'évaluer la qualité de la prédiction des différents modèles.

4.6.5 Résultats obtenus et comparaison des méthodes

Pour évaluer les différents modèles de régression, différents critères sont retenus :

- La RMSE définie précédemment
- Le R^2 défini comme :

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i \in Base\ test}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i \in Base\ test}(y_i - \mu)^2}$$

  où μ est la moyenne des valeurs réelles y_i,
  et $\hat{y}_i$ est la valeur estimée par le modèle pour l'individu i
- Un ratio global de la valeur prédite sur la valeur réelle, noté *Ratio O/A* (observé sur attendu) défini comme :

$$Ratio\ O/A = \frac{\sum_{i \in Base\ test}\hat{y}_i}{\sum_{i \in Base\ test} y_i}$$

  y_i est la valeur réelle de règlement pour l'individu i dans la base test,
  et $\hat{y}_i$ est la valeur prédite par le modèle du montant de règlement pour l'individu i.

- Le ratio moyen de la valeur observée sur la valeur attendue tête par tête :

$$Ratio\ O/A\ moyen\ par\ tête = \frac{1}{n_{test}}\sum_{i=1}^{n_{test}}\frac{\hat{y}_i}{y_i}$$

  où n_{test} est la taille de la base test,,
  y_i est la valeur réelle de règlement pour l'individu i dans la base test,
  et $\hat{y}_i$ est la valeur du montant de règlement pour l'individu i estimée par le modèle .

Voici les résultats obtenus pour chaque méthode implémentée :

Methode	R^2	ratio O/A global	Moyenne des Ratio O/A tête par tête	RMSE
Régression linéaire multiple	10.096%	80.541%	2,325.765%	67746
Arbre de régression CART	7.843%	79.945%	2,239.370%	68590
Random forest	13.544%	88.209%	2,486.774%	66435
XGBoost	14.669%	91.806%	3,640.129%	52885
GLM	12.426%	93.728%	1,968.538%	47771

FIGURE 61 – Comparaison des méthodes de régression

Le R^2 est très peu élevé pour chacune des méthodes ce qui montre un fort sous-ajustement des modèles. Le ratio de la valeur observée totale sur la valeur attendue totale est quant à lui plutôt bon, en particulier pour le modèles GLM et XGBoost, cela montre que le montant de sinistre total est correctement estimé. Néanmoins, ces mêmes ratios obtenus tête par tête ont une moyenne extrêmement élevée pour tous les modèles, ce qui signifie que les prédictions au cas par cas sont très mauvaises bien qu'au global le montant attendu soit retrouvé. Il faut noter que le ratio observé sur attendu moyen tête par tête est le plus faible pour le modèle GLM. Enfin les RMSE sont beaucoup trop élevées, puisque dans tous les cas elles dépassent le montant moyen des règlements comptables MAV qui se situe autour de 30000€. Ce sont les modèles XGBoost et GLM qui détiennent les RMSE les plus basses.

Ainsi, les cinq méthodes de régression implémentées sont toutes très mauvaises. Il y a plusieurs raison à cela :

- A priori les 2500 sinistres MAV semblaient être un nombre d'observations suffisant, mais il s'avère finalement que les modèles ont "sous-appris" sur la base de données comptable. Natixis Assurances ne dispose pas d'une expérience suffisante en termes de sinistralité pour ce produit.
- Par nature du produit MAV, le montant réglé en cas de sinistres dépend de nombreux facteurs comme le préjudice économique et moral notamment lié au salaire de l'assuré, au nombre d'enfants de l'assuré, etc..., ce sont tant de données dont ne dispose pas Natixis Assurances dans ses bases portefeuilles historiques. Ne pas avoir accès à ces informations fausse énormément les prédictions, et ce, peu importe le modèle utilisé.
- Enfin, la variable donnant le montant de prime payé par l'assuré ne s'est pas avérée être significative pour déterminer le montant de prestation, et ce, pour tous les modèles. Ce constat fut surprenant en tout premier lieu, mais cela s'explique par une très forte mutualisation du risque MAV. Un assuré peut par exemple payer une prime de seulement 3€, mais recevoir une très grande contrepartie en cas d'IPP si le préjudice patrimonial est conséquent.

Bien que les modèles soient tous mauvais, il est insensé d'utiliser les plafonds d'indemnisation de la MAV pour modéliser la charge de sinistre 2021 afin d'évaluer la structure de réassurance. En revanche, il est un peu plus sensé d'utiliser, malgré tout, une des méthodes de régression implémentée, et c'est le modèle GLM qui semble le plus convenable. En effet,

- Le *Ratio O/A* global du GLM est à environ 94%, et puisque pour modéliser la fréquence des sinistres une méthode stochastique sera utilisée (Monte Carlo), les montants seront de toute façon tirés au sort. Ainsi, un tirage au sort parmi des montants prédits dont la somme représente 94% de la somme des montants réels, est acceptable.
- De plus, le *Ratio O/A moyen tête par tête* du modèle GLM est le moins élevé de tous, autrement dit c'est le modèle qui prédit le mieux la charge de sinistre tête par tête. Et ce critère est vraiment important pour l'évaluation des XS Tête par périmètre et sur rétention.
- La RMSE du modèle GLM est la plus faible.
- Le R^2 n'est pas le plus faible de toutes les méthodes.

Pour conclure, ce sera bien le modèle GLM qui sera utilisé pour prédire les montants de sinistres futurs pour le produit MAV.

4.6.6 Simulations de Monte Carlo

Disposant de montants garantis plus réalistes que les plafonds d'indemnisation donnés auparavant, il est maintenant possible d'appliquer à ce périmètre une modélisation de la charge de sinistres a priori par simulation de Monte Carlo.

Etude du nombre optimal de simulations

Après avoir extrait une base de têtes valides au 31/12/2020, pour le groupe de risque Multirisque Accident de la Vie (code société 124, BPCE prévoyance), il est alors possible d'utiliser une loi de mortalité accidentelle différenciée par âge et par sexe. L'étude de ce périmètre ne concerne que les Banques Populaires puisque ce produit n'existe pas chez les Caisses d'Epargne.

Pour définir le nombre de simulations optimal pour l'année 2021, il faut regarder la convergence de la charge de sinistre moyenne des simulations vers la charge de sinistre moyenne déterministe calculée sur l'année 2020.

$$\textit{Charge déterministe} = \sum_{i=1}^{N} q_{x\,i} * CSR_i$$

Où N est le nombre de têtes valides dans le portefeuille MAV au 31/12/2020,

$q_{x\,i}$ est la probabilité d'occurrence d'un accident de la vie pour l'individu i d'âge x,

et CSR_i est le montant des capitaux sous risque pour l'individu i qui ont été prédits avec le modèle GLM.

Le graphique ci-dessous trace la convergence de la charge de sinistre espérée en fonction du nombre de simulations. Plus le nombre de simulations augmente, meilleure est la convergence vers la charge de sinistre déterministe.

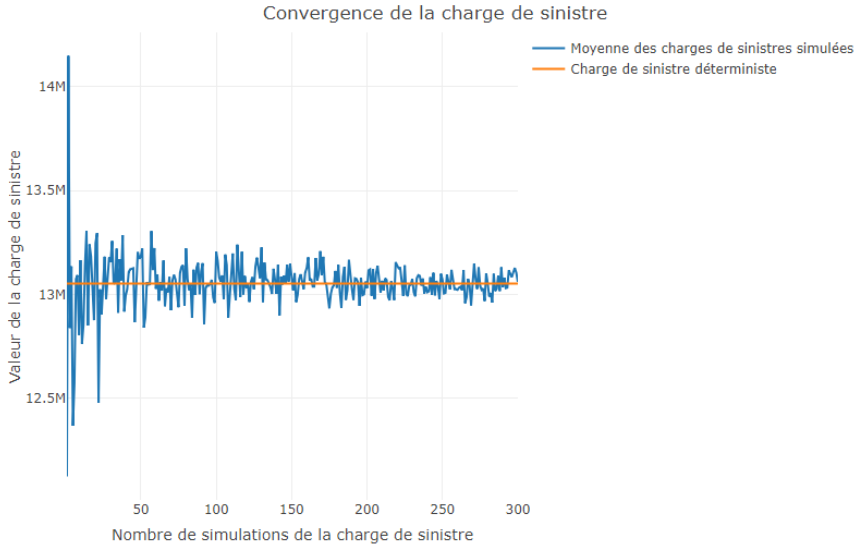

FIGURE 62 – Convergence de la charge de sinistres moyenne MAV vers la charge de sinistres déterministe

Pour le risque MAV, le nombre de simulations optimal est fixé à 200, en effet la convergence est très stable à partir de ce nombre de simulations.

Description des 200 charges simulées

Voici un graphique traçant les charges totales simulées, la charge totale minimale, moyenne et maximale :

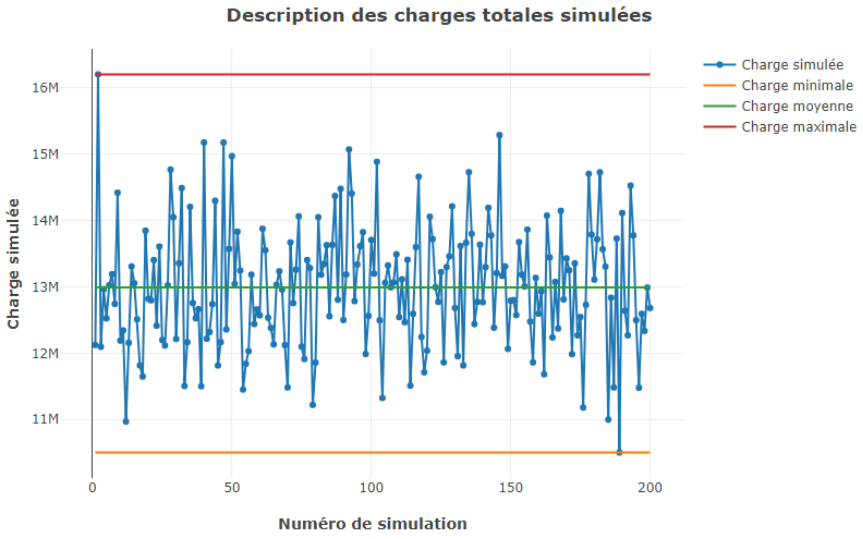

FIGURE 63 – Charges simulées MAV

Les charges totales fluctuent entre 10.5M€et 16M€, avec en moyenne une charge simulée autour de 13M€.

Les trois scénarios suivants vont être détaillés :

— Un scénario correspondant à la simulation dont la charge totale est minimale (scénario 1)
— Un scénario correspondant à la simulation dont la charge totale est maximale (scénario 2)
— Un scénario correspondant à la charge totale moyenne de toutes les simulations (scénario 3)

Ci-dessous la distribution des charges des trois scénarios est décrite à l'aide des quantiles définis aux seuils $1-\alpha$ où $\alpha \in (0.005, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75)$:

Quantiles	Charge de sinistres scénario 1	Charge de sinistres scénario 2	Charge de sinistres scénario 3
Min	€17,258.85	€17,299.09	€17,543.67
quantile 25%	€25,153.09	€24,985.05	€24,584.39
quantile 50%	€31,244.31	€31,519.33	€30,228.23
quantile 75%	€50,915.22	€58,444.42	€48,819.39
quantile 90%	€78,691.66	€85,023.54	€77,516.86
quantile 95%	€93,189.66	€101,816.13	€89,647.08
quantile 99.5%	€141,628.25	€166,185.73	€138,569.65
Max	€206,071.06	€227,830.85	€146,432.65

Table 51 – Trois scénarios possibles pour la MAV

Les trois scénarios sélectionnés sont très homogènes les uns aux autres, il n'y a pas de sinistre atteignant le plafond d'indemnisation MAV.

Comme il n'y a pas d'XS tête sur ce périmètre, la charge cédée au réassureur correspond à la QP c'est à dire à 65% de la charge totale.

A ce stade, l'assiette de prime annuelle hors taxe n'a pas encore été modélisée. Une analyse de la charge cédée et de la prime cédée ne peut pas encore être faite par risque.

4.7 Modélisation des cumuls

Pour modéliser les cumuls de sinistres à travers les périmètres DCTC, DCAC, AT et MAV, la solution la plus simple est de recoller les N simulations obtenues par la méthode de Monte Carlo pour chaque groupe de risque, où N est le plus petit nombre de simulations parmi tous les périmètres. Dans la pratique, le nombre de simulation minimum retenu parmi les périmètres est de 150. Une simulation correspond alors à un scénario possible de sinistralité future à horizon 1 an sur tout le périmètre de la prévoyance individuelle en gestion centralisée.
Avant de recoller les simulations de tous les périmètres, il a fallu préciser le numéro de simulation et le risque concerné pour chaque sinistre simulé. Voici un extrait de la base regroupant les sinistres simulés pour les quatre groupes de risque et les 150 simulations :

Montant_sinistre <dbl>	client <dbl>	risque <chr>	num_simu <dbl>
25000	7076481	DCTC	1
50000	6529607	DCAC	1
6370	2225210	AT	1
30228	7083526	MAV	1
25000	4992143	DCTC	2
50000	5484835	DCAC	2
3576	1912737	AT	2
100926	5307091	MAV	2

Table 52 – Extrait de la base de sinistres simulés construite

Cette base de sinistres simulés comporte 268 357 observations. Le numéro client associé à un sinistre permet d'identifier un cumul sur une même tête à travers les différents risques, la variable risque permet l'application des QP et XS Tête par périmètre de risque, et le numéro de simulation *num_ simu* permet d'identifier les sinistres survenus dans un même scénario possible à horizon 1 an. Une analogie peut être faite entre le numéro de simulation et une année de survenance de sinistre.

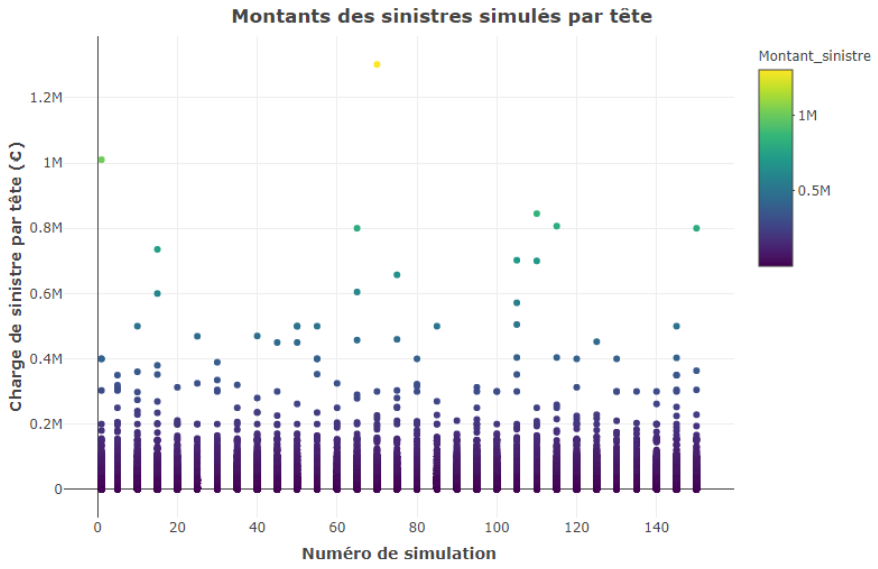

Figure 64 – Illustration de plusieurs simulations de charge tout périmètre de risque confondu

Dans le graphique ci-dessus il apparaît quelques unes des 150 distributions des charges de sinistres simulées, pour tous les périmètres de risque confondus DCTC, DCAC, AT et MAV. Les charges de sinistres obtenues sont très condensées entre 500€ et 150 000€, deux sinistres ont un montant supérieur à 1M€ et un montant de sinistre s'élève à plus de 1.2M€.

Cette modélisation des sinistres est suffisamment flexible pour appliquer le plan de réassurance 2021 aux charges

simulées :

- Les QP pourront s'appliquer par risque
- Section A : L'XS Tête par périmètre pourra s'appliquer par tête, par risque et par numéro de simulation
- Section B : L'XS Tête sur rétention pourra s'appliquer sur le reste à charge de l'assureur après le cumul par tête et numéro de simulation des rétentions post XS et QP

Lorsque le plan de réassurance est appliqué entièrement il devient possible d'analyser plusieurs indicateurs d'efficacité, comme le ratio S/P brut et net de réassurance pour chaque simulation, le résultat brut et net, la volatilité du résultat brut et net etc.

Description des 150 charges totales de sinistres simulées :

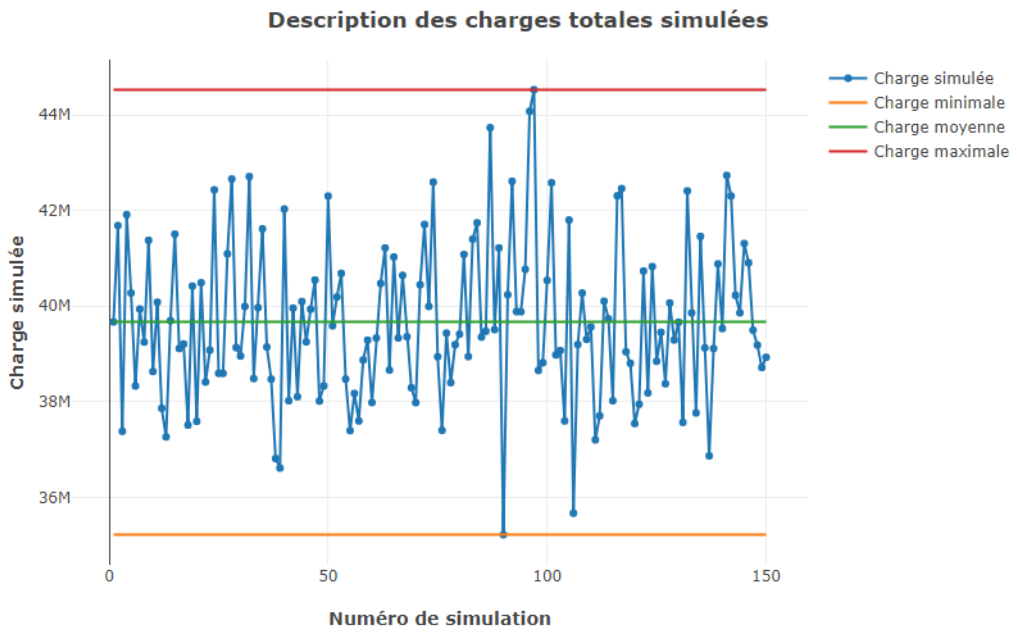

FIGURE 65 – Description des 150 charges totales simulées a priori

La charge totale simulée en prévoyance individuelle au cumul de tous les risques fluctue entre 35M€ et 44.5M€ avec en moyenne une charge de 39.7M€.

Parmi les 150 simulations, trois scénarios seront détaillés :

- Un scénario où la charge totale de sinistre correspond à la charge totale minimum parmi toutes les simulations (scénario 1)
- Un scénario où la charge de sinistres totale correspond à la charge maximum des 150 simulations (scénario 2)
- Un scénario où la charge de sinistre totale correspond plus ou moins à la charge moyenne des 150 simulations (scénario 3)

Ce choix de scénario peut être critiqué car les scénarios correspondant aux charges minimale et maximale se produisent qu'une fois sur 150. Ce ne sont pas les scénarios les plus probables, mais ils permettent de majorer et minorer la charge totale qui est attendue à horizon 1 an. Le scénario moyen donne quant à lui, une vision plus réaliste de la sinistralité attendue.

Ci-dessous la distribution des charges des trois scénarios est décrite à l'aide des quantiles définis aux seuils $1-\alpha$ où $\alpha \in (0.005, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75)$:

Quantiles	Charge de sinistres scénario 1	Charge de sinistres scénario 2	Charge de sinistres scénario 3
Min	€729.75	€245.40	€524.31
quantile 25%	€4,670.75	€4,825.04	€4,753.26
quantile 50%	€15,000.00	€15,000.00	€15,000.00
quantile 75%	€25,000.00	€25,000.00	€25,000.00
quantile 90%	€41,485.10	€50,000.00	€50,000.00
quantile 95%	€56,609.58	€69,801.73	€65,000.00
quantile 99.5%	€131,751.66	€156,967.07	€133,290.82
Max	€210,506.17	€1,711,258.82	€720,000.00

TABLE 53 – Trois scénarios possibles pour les risques DCTC, DCAC, AT et MAV regroupés

Le sinistre au coût le plus élevé se trouve dans le scénario 2 correspondant à la charge totale maximale, et s'élève à 1 711 258€. Le scénario à la charge totale minimale semble être le plus homogène des trois.

Après avoir appliqué le plan de réassurance complet aux 150 simulations de sinistralité, la section B ne s'est déclenchée qu'un seule fois pour un cumul de sinistres dans la simulation numéro 99, représentant un montant de 6 612€. A priori, la section B ne serait pas une couverture efficace à travers les 150 scénarios simulés à horizon 1 an.

4.8 Modélisation de l'assiette de prime 2021

Modélisation de l'assiette de prime par simulations de Monte Carlo :

La prime cédée à la réassurance pour l'année 2021 est recalculée a priori afin d'être comparée à la prime estimée par les réassureurs.

Pour ce faire, les sorties du portefeuille sont simulées avec la méthode de Monte Carlo après avoir formulé les hypothèses simplificatrices suivantes :

- **Hypothèse 1 :** Il n'y a pas de résiliations. Autrement dit, les seules sorties possibles du portefeuille sont les décès.
- **Hypothèse 2 :** Il n'y a pas d'affaires nouvelles. Il n'y a donc aucune nouvelle entrée.
- **Hypothèse 3 :** Les décès ont lieu en milieu d'année. C'est à dire que les individus sortant du portefeuille ont payé la moitié de leur prime annuelle.

Les sorties du portefeuille sont alors considérées comme des variables aléatoires, supposées suivre une loi Binomiale de paramètre n et p $\mathcal{B}(n,p)$, où n est le nombre de têtes valides au 31/12/2020 tous périmètres de risque confondus, et p est une loi de mortalité (Décès toutes causes) par réseau, âge et sexe.

Pour obtenir une simulation d'assiette de prime 2021 hors taxes (HT), l'algorithme va tirer au sort les sorties du portefeuille et diviser par deux leur montant de prime HT annuelle (car les décès sont supposés survenir en milieu d'année) puis sommer toutes les primes annuelles HT.

Ensuite l'assiette de prime annuelle hors taxes 2021 sera égale à la moyenne de toutes les simulations.

Au préalable il faut, bien entendu, étudier la convergence de l'assiette de prime espérée vers l'assiette de prime déterministe.

Si l'on note A l'assiette de prime déterministe, q_{xi} la probabilité de décès à l'âge x pour l'individu i et $Prime_i$ le montant de primes anuelle HT payé par l'individu i :

$$A = \sum_{i=1}^{n} q_{xi} * 1/2 * Prime_i + \sum_{i=1}^{n} (1 - q_{xi}) * Prime_i$$

où n est le nombre total de têtes valides dans tout le portefeuille PI au 31/12/2020.

Ci-dessous le graphique présente la convergence de l'assiette de prime HT 2021 espérée vers l'assiette de prime déterministe.

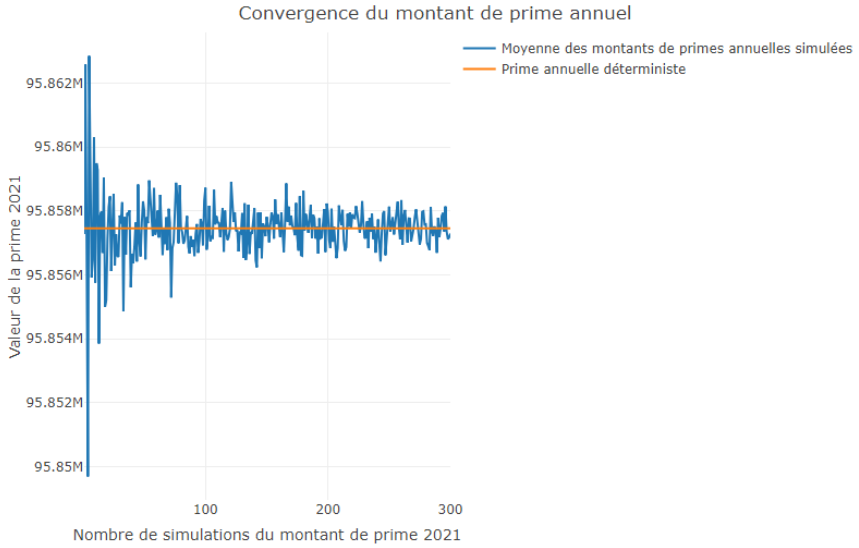

FIGURE 66 – Convergence de l'assiette de prime moyenne vers l'assiette de prime déterministe

Le nombre de simulation optimal retenu est de 100.

Assiettes de primes 2021 simulées par risque

Ci-dessous le tableau présente une comparaison entre les assiettes de prime simulées par risque et les assiettes de primes estimées par le réassureur.

	Assiette de primes HT 2021 simulée	Assiette de primes HT 2021 estimée par le réassureur	Ecart entre les assiettes
DCTC	€62,855,924	€63,266,000	-0.65%
DCAC	€5,398,610	€6,200,500	-12.93%
AT	€4,344,871	€8,167,880	-46.81%
MAV	€8,768,036	€10,089,500	-13.10%

TABLE 54 – Comparaison des assiettes de primes simulées et estimées par le réassureur

L'écart relatif entre les assiettes est calculé comme : $\frac{Assiette\ simulée - Assiette\ estimée\ réassurance}{Assiette\ estimée\ réassurance}$

Pour tous les périmètres de risque l'assiette de prime simulée pour l'année 2021 est inférieure à l'assiette de prime estimée par le réassureur. Le réassureur surestime en particulier les assiettes AT, MAV et DCAC.

Le tableau ci-dessous confronte les primes cédées recalculées à partir des simulations de Monte Carlo et les primes cédées estimées par le réassureur pour chaque type de couverture :

Primes cédées par type de couverture	Prime 2021 estimée par la réassurance	Prime 2021 recalculée par simulations de Monte Carlo	Ecart
Prime cédée en QP	€31,340,565	€21,349,005	-46.80%
Prime cédée section A - XST/périmètre	€1,940,859	€1,814,985	-6.94%
Prime cédée section B - XST/retention	€195,627	€162,735	-20.21%

TABLE 55 – Comparaison des primes cédées simulées et estimées par le réassureur

Selon ce tableau la prime demandée par le réassureur est surestimée, en particulier pour la couverture QP, la cédante devrait céder environ 47% de prime en moins pour se couvrir en 2021.

Globalement Natixis Assurances a un budget de réassurance de **23 326 725€** avec le plan de réassurance 2021.

4.9 Efficacité du nouveau plan de réassurance

Indicateurs d'efficacité comptables

Les indicateurs retenus pour l'appréciation de l'efficacité du nouveau programme de réassurance se distinguent en deux groupes, en un premier groupe d'indicateurs comptables et un deuxième groupe d'indicateurs provenant de la norme Solvabilité 2 (S2). Cette partie va présenter dans un premier temps les différents résultats obtenus pour les indicateurs comptables retenus, puis dans un second temps la norme Solvabilité 2 sera introduite avant de présenter les résultats obtenus pour les indicateurs S2 retenus.

4.9.1 Solde de Réassurance

Le solde de réassurance est la différence entre les primes cédées et les charges cédées au réassureur :

$$Solde\ de\ réassurance = Primes\ cédées - Charges\ cédées$$

Après la modélisation de la prime cédée à la réassurance en 2021, et le calcul des charges cédées à la réassurance à travers 150 scénarios simulés, le solde de réassurance a été calculé pour chaque simulation et la distribution de ces soldes obtenus est présentée ci-dessous :

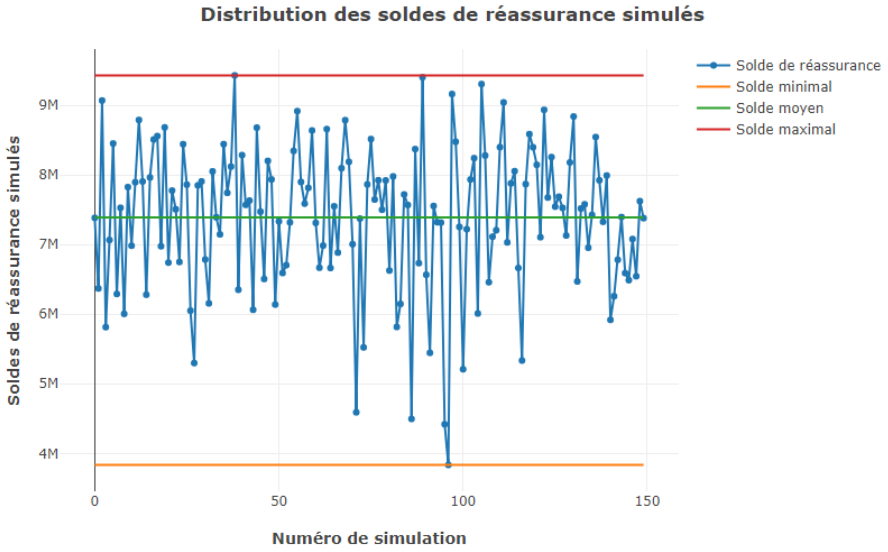

FIGURE 67 – Distribution a priori des soldes de réassurance simulés

Le solde moyen de réassurance sur les 150 simulations s'élève à 7 392 241€, dans chaque scénario simulé, Natixis Assurances est déficitaire et le montant de ce déficit moyen se chiffre à 7 392 241€. Au minimum le déficit de la cédante est de 3.8M€, et au maximum le déficit atteint les 9.4M€.
Au global le plan de réassurance sera plutôt coûteux sur le périmètre de la Prévoyance individuelle en 2021, toutefois ce plan peut s'avérer avantageux selon d'autres indicateurs. C'est ce qui sera vérifié par la suite.

4.9.2 S/P net vs brut de réassurance

Les ratio S/P brut et net de réassurance sont calculés pour les 150 simulations de cette manière :

$$Ratio\ S/P_{brut} = \frac{Charge\ Totale}{Primes\ Totales} \text{ et } Ratio\ S/P_{net} = \frac{Charge\ Totale - Charge\ Cédée}{Primes\ Totales - Primes\ Cédées}$$

Cet indicateur permet de juger l'efficacité du plan de réassurance dès lors que la cession à la réassurance permet de diminuer le S/P de l'assureur : $Ratio\ S/P_{net} < Ratio\ S/P_{brut}$

Le S/P brut de réassurance moyen à travers les 150 simulations est de 48.9% et le S/P net moyen est de 41.8% ce qui constitue une diminution relative moyenne de 14.5%. Le graphique ci-dessous trace les 150 écarts entre S/P bruts et nets simulés :

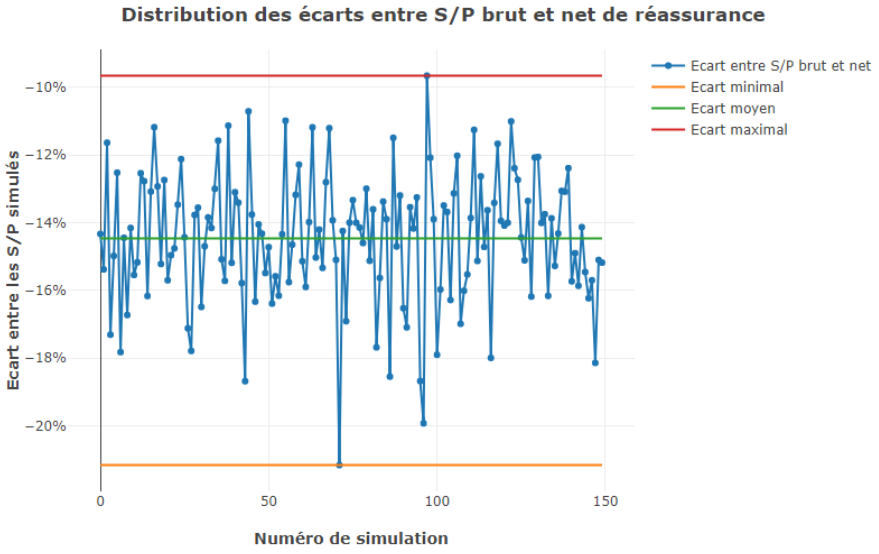

FIGURE 68 – Distribution a priori des S/P bruts et nets de réassurance simulés

Les écarts relatifs entre les S/P bruts et nets sont tous négatifs ce qui signifie que la réassurance diminue bien le S/P brut dans tous les cas de figure. La réassurance permet de diminuer le S/P brut de **9.6%** à **21.2%**, dans tous les cas le plan de réassurance est efficace selon cet indicateur.

4.9.3 Marge technique cédée, brute vs nette

Cet indicateur représente en quelque sorte la rentabilité de l'affaire, il est à maximiser.
La marge technique brute de réassurance moyenne parmi les 150 simulations est d'environ **75.6%**, la marge technique nette moyenne est d'environ **82.5%** et la marge cédée est d'environ **32.7%**. En moyenne la structure de réassurance actuelle permet d'augmenter la rentabilité de la cédante de **9.1%** environ. Dans toutes les simulations la marge nette de réassurance est plus élevée que la marge brute.

4.9.4 Volatilité des sinistres conservés

La volatilité des sinistres est calculée à travers les 150 simulations comme :

$$Volatilité = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{150}(s_i - \bar{s})^2}$$

où s_i est la charge de sinistres conservée par la cédante dans la simulation numéro i et $\bar{s}$ est la charge moyenne de sinistre conservée par la cédante à travers les 150 simulations.

La volatilité de la charge de sinistres conservée est de **836 365€** alors que la volatilité de la charge totale de sinistre des 150 simulations est de **1 572 725€**. La structure de réassurance actuelle permet donc de baisser la volatilité du montant à charge de la cédante d'environ **46.8%**. Cette baisse est très importante et confirme l'efficacité de la nouvelle structure de réassurance.

4.9.5 Volatilité du résultat technique

La volatilité du résultat sera calculée à travers les 150 simulations comme :

$$Volatilité = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{150}(res_i - \bar{res})^2}$$

où res_i est le résultat technique net de la cédante dans la simulation numéro i et $\bar{res}$ est le résultat net moyen de la cédante à travers les 150 simulations.

La volatilité du résultat technique net de réassurance est de **836 364€** alors que la volatilité du résultat brut de sinistre des 150 simulations est de **1 572 504€**. La structure de réassurance actuelle permet donc de baisser la volatilité du montant à charge de la cédante d'environ **46.8%**. Cette baisse très importante témoigne de l'efficacité de la structure de réassurance, de plus, elle permet de conclure que l'objectif premier du processus de réassurance est atteint. Cette diminution sera confrontée ultérieurement au plan de réassurance amputé de la section A afin de déterminer quelle solution de réassurance est optimale pour Natixis Assurances.

4.9.6 Réassurance et Solvabilité 2 :

Avec l'entrée en vigueur de Solvabilité 2, la réassurance devient un outil efficace et stratégique de pilotage du capital. Cette section s'attachera à présenter les grands principes de la réglementation, qui se divisent en 3 piliers distincts. Les enjeux en termes de réassurance seront également soulignés.

Pilier I - Exigeances quantitatives, bilan économique

Le premier pilier expose les exigences quantitatives pour le calcul des provisions techniques et du SCR (Solvency Capital Requirement). Ce pilier introduit la notion de bilan économique.

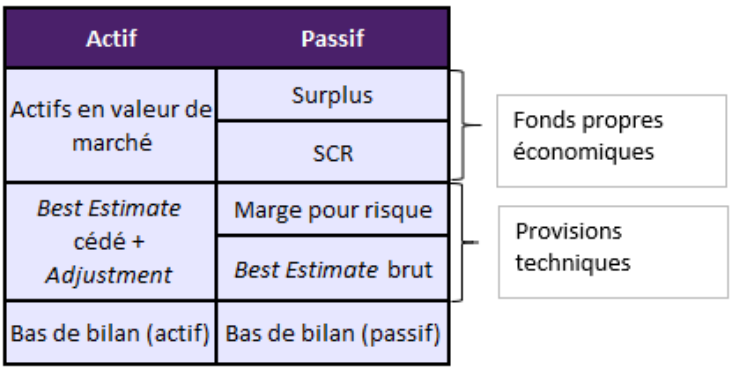

FIGURE 69 – Schéma du bilan économique sous Solvabilité II

Les placements à l'actif sont comptabilisés à leur valeur de marché. Au passif, les provisions techniques comprennent deux postes distincts :

- **Le *Best Estimate* brut** (BE brut) : c'est la valeur actuelle probable des *cashs flows* futurs de la compagnie, brute de réassurance. Les flux considérés sont ceux des contrats en cours, ils ne concernent pas les affaires nouvelles. L'actualisation se fait à partir des taux sans risque observés sur le marché, chaque mois une nouvelle courbe de taux est fournie par l'EIOPA à cet usage. Le *Best Estimate* net (BE net) est le BE brut après application de la structure de réassurance à la cédante.
- **La marge pour risque** : c'est le montant nécessaire qui permet le transfert du portefeuille entre deux assureurs, car il permet de compenser le coût supplémentaire d'immobilisation de capital lié à ce transfert.

A partir du BE brut et net le *Best Estimate* cédé (BE cédé) est défini comme suit :

$$BE_{cédé} = BE_{brut} - BE_{net}$$

Les provisions techniques cédées à la réassurance $PT_{cédé}$, sont à l'actif du bilan et se calculent comme suit :

$$PT_{cédé} = BE_{cédé} + Adjustment$$

Avec *Adjustment* calculé comme la valeur actuelle attendue de la variation des flux de réassurance s'il y a défaut de contrepartie :

$$Adjustment = -Max(0.5 * \frac{\mathbb{P}_{defaut}}{1-\mathbb{P}_{defaut}} * D_{reass} * BE_{cédé}; 0)$$

Où $\mathbb{P}_{defaut}$ est la probabilité de défaut du réassureur sur un an,
et D_{reass} est la duration des montants recouvrables des contrats de réassurance.

Dans le 1er pilier de la norme Solvabilité II, sont définis deux niveaux réglementaires minimum concernant les fonds propres de la compagnie :

- **Le Capital de Solvabilité Requis** (SCR) : c'est le capital minimum nécessaire pour ne pas être en ruine à horizon 1 an avec une probabilité de 99.5%. Autrement dit, c'est le capital nécessaire pour n'être en ruine qu'une fois tous les 200 ans.

- **Le Minimum de Capital Requis** (MCR) : c'est le niveau de fonds propres en dessous duquel le risque n'est plus acceptable, ce montant est inférieur au SCR.

Selon cette réglementation, les compagnies d'assurance doivent détenir un niveau de fonds propres supérieur à leur montant de SCR. La différence entre les fonds propres et le SCR apparaît alors au passif du bilan économique comme surplus.

Le ratio de solvabilité, $Ratio_{S2} = \frac{FondsPropres}{SCR}$, doit donc être supérieur à 100%.

Calcul du SCR : Il y a trois méthodes de calcul du SCR, elles sont expliquées ci-après.

- **La formule standard :** Dans cette approche, les risques systémiques et systématiques sont cartographiés et répartis à travers des modules et sous-modules. Un choc déterministe est appliqué à chaque sous-module de sorte à faire face à 99.5% des scénarios défavorables. Les pertes résultant de ces chocs sont agrégées pour définir le montant de SCR de la compagnie.
- **Le modèle interne :** Dans cette approche, la compagnie d'assurance crée son propre modèle complet, impliquant une modélisation précise des risques. Le niveau de capital nécessaire doit limiter la ruine de l'assureur à 0.5% à horizon un an.
- **Le modèle interne partiel :** Cette approche combine la formule standard et le modèle interne, en effet une partie des risques est évaluée avec la formule standard et l'autre partie est modélisée séparément.

Chez Natixis Assurances, la formule standard est appliquée pour des raisons de simplicité de mise en oeuvre, donc dans ce mémoire les SCR seront aussi calculés de cette manière. Le détail des formules utilisées et donné ci-dessous.

$$SCR = BSCR + SCR_{op} - Adj$$

— $BSCR$ correspond au capital de solvabilité de base et se calcule comme l'aggrégation des SCR des différents modules de risques, eux-mêmes constitués de plusieurs sous-modules. La figure 67 présente un schéma de l'ensemble des modules et sous-modules de la formule standard.

— SCR_{op} correspond au capital requis par rapport au risque opérationnel

— Adj est l'ajustement pour la capacité d'absorption de pertes pour les provisions techniques et les impôts différés.

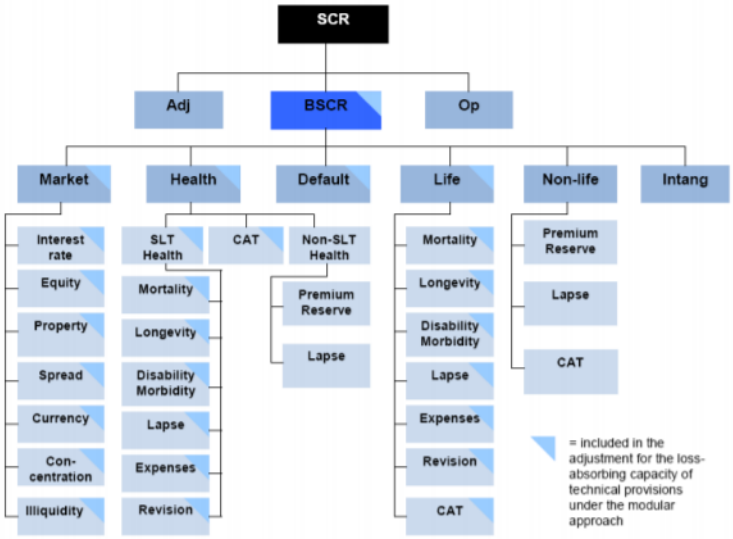

FIGURE 70 – Schéma des modules et sous-modules S2 - ACPR

Le SCR d'un module est obtenu en calculant le SCR de ses sous-modules et en les agrégeant à l'aide une matrice de corrélation définie par la réglementation. Le SCR d'un module est calculé en appliquant un scénario choqué au bilan de l'assureur.

En définissant la *Net Asset Value* (NAV) comme la différence de l'actif et le passif du bilan économique, le SCR d'un sous-module k, appartenant au module i, se calcule comme suit :

$$SCR_k^i = NAV_{central} - NAV_{choc\ k}$$

Lorsqu'un un choc n'a aucun impact sur les placements à l'actif du bilan, la formule du SCR du sous-module k, appartenant au module i peut se simplifier :

$$SCR_k^i = BE_{net\ central} - BE_{net\ choc\ k}$$

La formule ci-dessus montre bien que la réassurance adoptée par la compagnie d'assurance impacte directement les montants de SCR des sous-modules calculés et par suite, le SCR global.
Le SCR d'un module i, noté SCR_i est donné par l'agrégation suivante :

$$SCR_i = \sqrt{\sum_{k,l} \rho_{k,l} SCR_k^i SCR_l^i}$$

— $\rho_{k,l}$ désigne le coefficient de corrélation entre les sous-modules k et l donné par la réglementation
— SCR_k^i est le SCR du sous-module k qui appartient au module i

De manière tout à fait analogue, le BSCR est donné par l'agrégation suivante :

$$BSCR = \sqrt{\sum_{i,j} \rho_{i,j} SCR_i SCRj}$$

— $\rho_{i,j}$ désigne le coefficient de corrélation entre les modules i et j donné par la réglementation
— SCR_i est le SCR du module i donné apr la formule précédente

Ci-après, le tableau donne les coefficients de corrélation entre les différents modules de SCR :

i,j	**Marché**	**Contrepartie**	**Vie**	**Santé**	**Non-vie**
Marché	1	0,25	0,25	0,25	0,25
Contrepartie	0,25	1	0,25	0,25	0,5
Vie	0,25	0,25	1	0,25	0
Santé	0,25	0,25	0,25	1	0
Non-vie	0,25	0,5	0	0	1

Table 56 – Matrice de corrélation des modules de SCR (Cordani, 2020)

Pilier II - Exigences qualitatives de gestion des risques et de gouvernance

Le pilier II renforce le dispositif de gestion des risques en mettant en place l'ORSA (*Own Risk and Solvency Assessment*) pour les compagnies d'assurance.
Dans le contexte de l'ORSA l'assureur doit :

— Evaluer le besoin global de solvabilité en tenant compte du profil de risque de l'entreprise et de sa stratégie commerciale.
— Veiller au respect permanent des exigences de capital.
— Analyser l'adéquation du profil de risque avec la formule standard.

En plus de l'identification des risques quantifiables, L'ORSA met l'accent sur les risques non quantifiables comme le risque stratégique ou le risque de réputation par exemple. L'ORSA introduit également les concepts suivants :

— **L'appétence au risque :** c'est le niveau de risque maximum que la compagnie est prête à prendre en ayant pour but d'atteindre ses objectifs stratégiques. Cette appétence au risque peut être traduite à l'aide d'indicateurs.

— **Le besoin global de solvabilité (BGS) :** c'est le montant de fonds propres nécessaire en vue de respecter le niveau de solvabilité fixé selon les objectifs stratégiques, après application de scénarios défavorables et à horizon du *Business Plan* (souvent plusieurs années).

Avec la dimension pluriannuelle de l'ORSA, la stratégie de réassurance doit être réfléchie sur le long terme, cela permet la prise en compte l'évolution des risques dans le temps. La réassurance est un outil stratégique dans le cadre de l'ORSA.

Pilier III - Exigences de communication financière

Ce pilier est basé sur un principe de transparence envers le public, en effet la situation financière et l'état de solvabilité de la compagnie d'assurance doivent pouvoir être appréciées par tous. Dans ce contexte, deux rapports narratifs doivent être produits :

— le SCFR destiné au grand public

— le RSR destiné au superviseur (*ie* l'ACPR) .

D'autre part, il est demandé aux compagnies d'assurances de fournir des rapports quantitatifs, QRT (Quantitative Reporting Templates), annuellement et trimestriellement.
La réassurance intervient, dans chacun des documents cités ci-dessus.

Avec l'introduction de la norme Solvabilité II, il est désormais possible de définir de nouveaux indicateurs d'efficacité afin d'évaluer le nouveau programme de réassurance 2021. Une liste de ces indicateurs est donnée ci-dessous :

- **Le gain en SCR** : qui correspond à la différence entre SCR brut et net de réassurance
- **Le ratio de solvabilité brut vs net** : qui correspond au ratio des fonds propres bruts (resp. nets) sur SCR brut (resp. net)
- **Le RORAC (*Return On Risk-Adjusted Capital*)** : qui correspond au retour sur investissement du capital alloué, c'est le ratio entre le résultat brut (resp. net) de réassurance et le capital économique alloué.
- **Le ROE brut vs net (*Return On Equity*)** : qui correspond au retour sur investissement, c'est le ratio entre le résultat brut (resp. net) et les fonds propres bruts (resp. nets)
- **Le RoL (*Rate on Line*)** : qui correspond au coût d'1€ de couverture pour la tranche considérée, c'est le ratio entre les primes des traités non proportionnels et la portée de l'XS
- **Le ratio d'efficacité sous S2** : qui correspond au ratio entre le solde de réassurance et les économies en SCR, frais de gestion et impots sur résultat.

Dans ce mémoire, seuls le gain en SCR et le ratio de solvabilité seront calculés.

4.9.7 Gain en SCR et ratio de solvabilité brut vs net

Un outil *EXCEL/VBA* de calcul de SCR a été développé en interne par le service de réassurance, il a été décidé de capitaliser sur les travaux déjà effectués pour pouvoir calculer et analyser les indicateurs S2 retenus. Néanmoins cet outil comporte de nombreuses limites, en effet seul le périmètre DCAT peut être pris en compte, seule une structure de réassurance de même type que le plan de réassurance 2020 peut être étudiée et les cumuls ne sont pas pris en compte et ne peuvent pas l'être.

Il est possible de modifier l'outil pour que le plan de réassurance 2021 hors section B soit appliqué, mais en ce qui concerne la gestion des cumuls et du périmètre MAV rien ne peut être fait sans repartir de zéro.

La Direction des Risques quant à elle, utilise un taux de cession moyen dans son calcul du SCR net de réassurance, calculé comme la charge totale cédée sur la charge totale. La réassurance non proportionnelle en XS Tête n'est pas implémentée dans leur outil à l'heure actuelle. En effet les *model points* en entrée de leur outil de calcul sont très agrégés, il n'y a pas le détail tête par tête, donc il n'est ni possible d'évaluer les XS Tête seuls ni possible d'évaluer les cumuls de risque par tête.

Le gain en SCR :

Avoir recours à de la réassurance permet d'atténuer le risque de souscription de la cédante, qui voit ainsi son SCR de soucription baisser. Mais cela engendre par ailleurs un risque de défaut du réassureur. La réassurance va alors augmenter le SCR de défaut de la contrepartie. Toutefois, cette hausse est bien moins importante que la baisse du SCR de souscription en général. Globalement, la réassurance permet diminuer le montant de SCR de la cédante. Le gain en SCR est alors :

$$\Delta(SCR) = SCR_{brut} - SCR_{net}$$

Avec :

- SCR_{brut} : le SCR sans réassurance
- SCR_{net} : le SCR après application du plan de réassurance

Le gain en SCR permet de mesurer l'économie en capital engendrée par la réassurance.

Le SCR a été calculé pour chaque filiale BPCE Vie et BPCE Prévoyance avec et sans réassurance. BPCE Vie regroupe les risques Décès Toutes Causes tandis que BPCE Prévoyance regroupe les risques Arrêt de Travail, Décès Accidentel et Multirisques Accidents de la Vie.

		BPCE Vie		BPCE Prévoyance	
	Structure Réassurance	Perte Résultat	Gain SCR	Perte Résultat	Gain SCR
Aucune Réassurance	1	-	-	-	-
Structure Actuelle	2	2 747 648	1 469 122	998 458	2 962 408

Table 57 – Gain en SCR

Le tableau ci-dessus donne le gain en SCR ainsi que le coût de la réassurance avec la structure 2021 pour les deux filiales. Sans réassurance, il n'y pas de perte sur le résultat mais il n'y pas de gain en SCR non plus. Avec la structure de réassurance actuelle, il y a un gain élevé en SCR pour les deux filiales, cependant le gain en SCR rapporté au coût de la réassurance est beaucoup plus intéressant pour BPCE Prévoyance. Une structure de réassurance optimale doit fournir un gain en SCR efficace sans céder une partie trop importante de résultat.

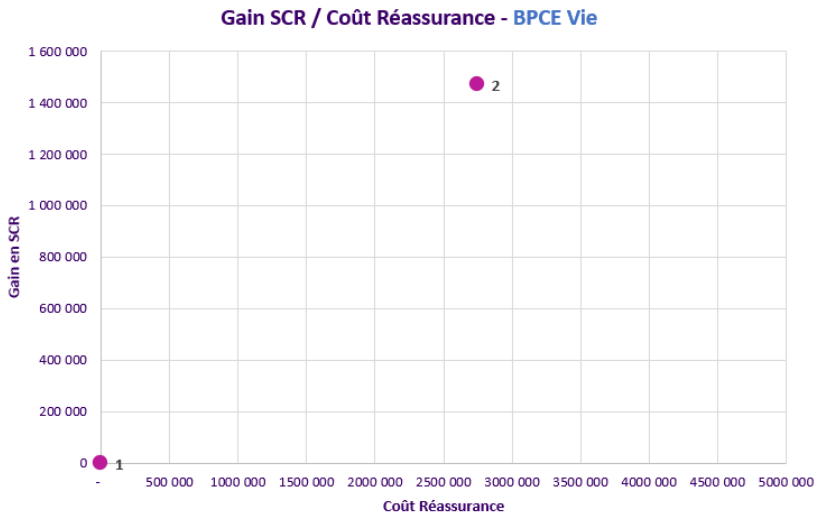

FIGURE 71 – Graphique gain SCR et coût de réassurance - BPCE Vie

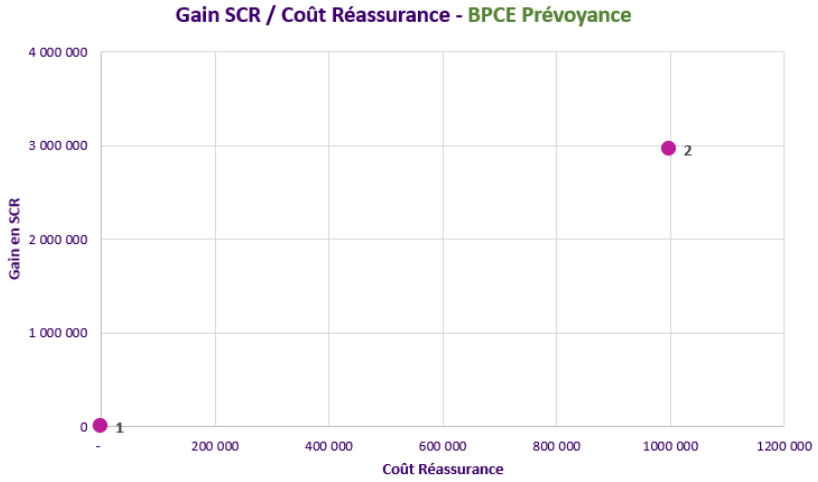

FIGURE 72 – Graphique gain SCR et coût de réassurance - BPCE Prévoyance

Les graphiques ci-dessus positionnent la structure de réassurance actuelle selon son gain en SCR et son coût pour les deux entités BPCE Vie et BPCE Prévoyance.

Le ratio de solvabilité :

Comme précédemment un ratio de solvabilité a été calculé pour les deux entités BPCE Vie et BPCE Prévoyance, ce ratio correspond aux fonds propres sur le SCR et doit être supérieur à 100%. Ci-dessous le tableau donne les ratio S2 calculés avec l'outil Excel/VBA, dans tous les cas ces ratios sont supérieurs à 100%.

	Ratio S2 - BPCE Vie	Ratio S2 - BPCE Prévoyance
brut de réassurance	163%	145%
net de réassurance actuelle	163%	153%

TABLE 58 – Ratio S2 brut et net de réassurance

La première colonne donne le ratio S2 de BPCE Vie avec et sans réassurance, ce ratio est inchangé par la structure actuelle de réassurance. La deuxième colonne indique que le ratio S2 de BPCE Prévoyance passe de

145% sans réassurance à 153% avec la structure de réassurance actuelle, il y a donc une amélioration de ce ratio pour BPCE Prévoyance.

Pour conclure, selon les indicateurs S2 retenus, le programme de réassurance 2021 a un impact très positif pour l'entité BPCE Prévoyance et un impact moins intéressant pour l'entité BPCE Vie. Néanmoins au global pour les deux entités réunies, il y a un gain en SCR plus élevé que le coût de réassurance et une augmentation du ratio S2.

4.10 Impact de la suppression de la section A

Cette partie vise à étudier la proposition des courtiers en réassurance qui consiste à ne garder qu'un excédent de sinistre totalement sur rétention. Pour ce faire le plan de réassurance a été appliqué aux charges de sinistres simulées en gardant les paramètres des QP et de la section B (portée, priorité) inchangés, et en supprimant la section A. Ensuite, des indicateurs d'efficacité ont été calculés afin de rendre possible une comparaison avec le plan de réassurance actuel.

Statistique sinistres graves a priori

De la même manière que pour la structure de réassurance actuelle (se référer à la section 4.1), la statistique des sinistres graves à horizon un an a été calculée par groupe de risque avec la proposition des courtiers, afin de permettre une comparaison avec le plan de réassurance actuel. Le coût des sinistres graves espérés est identique avec ou sans section A car son calcul est indépendant de la réassurance, en revanche les primes cédées pour la population aux capitaux les plus élevés sont directement impactées par un changement de couverture de réassurance. Les taux de cessions des QP sont inchangés et comme la section A a été supprimée il suffit juste de recalculer le taux de prime de la section B. Ce taux de prime a été recalculé à partir des charges simulées cédées a priori en section B, rapportées à l'assiette de prime globale de tout le portefeuille. Avec ce taux il est alors possible de calculer le coût de la réassurance pour le portefeuille portant les plus gros capitaux sous risque. Les résultats sont donnés ci-dessous :

Risque	Coût espérés des sinistres graves	Prime cédée sans section A	Prime cédée avec section A	S/P espéré sans section A	S/P espéré avec section A	Ecart
DCTC BP	€7,040,867	€2,193,615	€2,345,990	320.97%	300.12%	6.95%
DCTC CE	€616,754	€231,410	€247,484	266.52%	249.21%	6.95%
DCAC	€603,786	€3,000,804	€3,045,871	20.12%	19.82%	1.50%
AT	€28,395	€29,942	€30,610	94.83%	92.76%	2.23%

Table 59 – Comparaison des statistiques des sinistres graves avec et sans section A par groupe de risque

- Pour le groupe de risque décès toutes causes et garantie accessoire accidentelle, le plan de réassurance amputé de la section A permettrait d'augmenter le ratio sinistres sur primes espéré pour les sinistres graves de **6.95%**. Cela signifie qu'avec la proposition des courtiers en réassurance, Natixis pourrait espérer céder plus de charges que de primes au réassureur, qu'avec le programme de réassurance actuel. Mais cette augmentation reste assez faible.
- Pour les groupes de risque décès accidentel et arrêt de travail les écarts relatifs respectifs de **1.50%** et **2.23%** indiquent que la proposition des courtiers augmenterait très sensiblement le ratio S/P espéré des sinistres graves à horizon 1 an.

Globalement les augmentations de cet indicateur a priori, par le plan de réassurance amputé de la section A, ne sont pas très significatives, il faut voir si la proposition des courtiers apporte d'autres avantages plus conséquents.

Budget de réassurance

Cette partie vise à évaluer l'économie en coût de réassurance que permettrait le plan de réassurance amputé de la section A. Le tableau ci-dessous donne la prime totale cédée en QP ainsi que la prime totale payée en section B.

Prime cédée en QP	Prime cédée en section B	Totale prime cédée
€21,348,924	€1,261,488	€22,610,412

TABLE 60 – Prime cédée avec le plan de réassurance amputé de la section A

Sans la section A, le budget de réassurance total de Natixis Assurances serait de **22 610 412€**. Avec la section A, le budget recalculé est de **23 326 725€**. Donc la suppression de la section A permettrait une économie de **716 313€** ce qui représente une diminution de 3.1% environ. Cette économie est assez faible, il faut voir si la suppression de la section A est efficace selon d'autres critères.

S/P brut et net de réassurance sans section A

L'indicateur comptable du S/P brut et net de réassurance a été calculé après application du programme de réassurance amputé de la section A, aux charges et primes simulées. Le graphique ci-dessous trace les écarts relatifs entre S/P brut et net de réassurance, l'objectif étant une diminution du S/P brut par la réassurance.

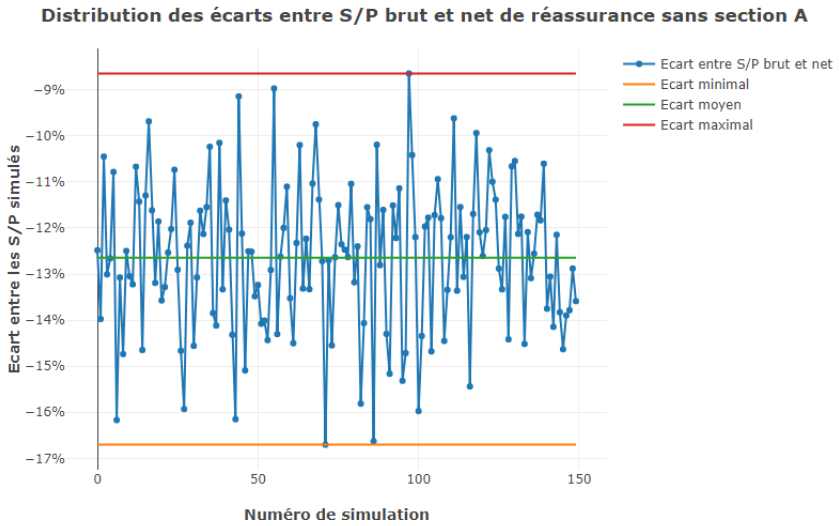

FIGURE 73 – Distribution des écarts relatifs entre S/P brut et net simulés, sans section A

D'après ce graphique les écarts relatifs entre les S/P bruts et nets sont tous négatifs ce qui signifie que la réassurance sans la section A diminue bien le S/P brut dans tous les cas de figure. l'écart relatif moyen à travers les 150 simulations, entre le S/P brut et net de réassurance sans section A est d'environ **-12.7%**. Le plan de réassurance amputé de la section A permet bien de diminuer le S/P en prévoyance individuelle, néanmoins l'écart relatif moyen obtenu avec le plan de réassurance actuel est plus intéressant, en effet il est de **-14.5%** en moyenne et constitue de ce fait une meilleure diminution.

Volatilité de la charges de sinistre conservée

La volatilité de la charge de sinistres conservée nette de réassurance est de **869 014€** cela représente une diminution de **44.7%** par rapport à la volatilité de la charge totale de sinistre de **1 572 725€**. Cette diminution est moins élevée qu'avec le plan de réassurance actuel qui pour rappel atteignait les **46.8%**. Selon cet indicateur, le plan de réassurance actuel est plus efficace que le plan de réassurance amputé de la section A pour stabiliser le reste à charge de la cédante.

Volatilité du résultat technique

La graphique ci-dessous illustre les volatilités des résultats bruts et nets de réassurance pour le plan actuel et le plan amputé de la section A.

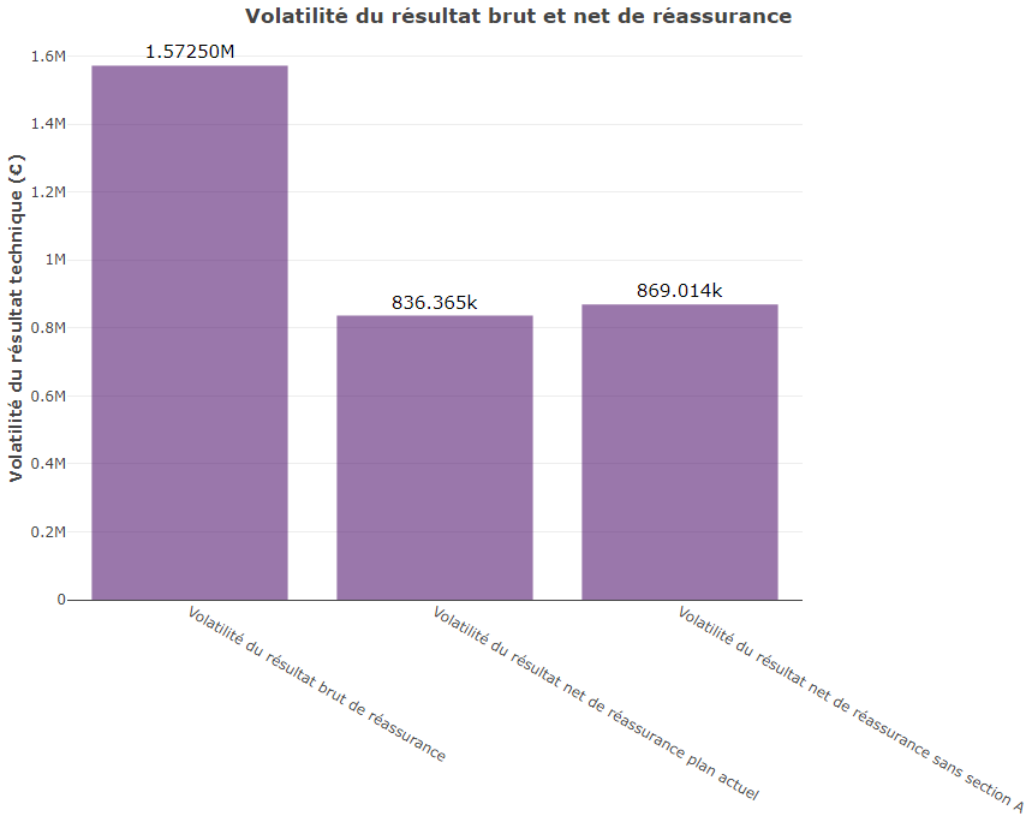

FIGURE 74 – Comparaison des volatilités du résultat brut et net

La baisse de la volatilité du résultat brut de réassurance est plus élevée pour le plan de réassurance actuel (**46.8%** contre **44.7%** pour le plan de réassurance amputé de la section A). La plan actuel est donc plus efficace pour stabiliser le résultat technique de la cédante, puisqu'il diminue la volatilité du résultat de manière plus conséquente que le plan amputé de la section A.

Conclusion

Il est vrai que la suppression de la section A permet de réduire légèrement le budget de réassurance de Natixis Assurances sur le périmètre de la Prévoyance. Cela permet également d'augmenter l'indicateur du S/P espéré à horizon 1 an sur la population portant les plus gros capitaux sous risque. Toutefois ces améliorations restent très sensibles et les indicateurs d'efficacité comptables comme la diminution du S/P global et la diminution de la volatilité du résultat sont en faveur du plan de réassurance actuel avec la section A. Finalement les impacts de cette proposition des courtiers ne sont pas tous positifs pour Natixis Assurances, l'économie en coût de réassurance n'est pas suffisante pour faire le compromis de perdre en efficacité de réassurance.

5 Chapitre 5 - Effet de la réassurance sur la rémunération des banques

5.1 Impact sur les commissions reversées aux banques

Dans cette section sont présentées les méthodes de calcul des différentes commissions liées à la réassurance. Ces méthodes étant relativement difficiles à mettre en place, des simplifications ont été apportées pour l'obtention des résultats. Les commissions reversées aux banques ont été calculées avec le plan de réassurance actuel et avec le plan de réassurance amputé de la section A, afin de comparer leur effets et de voir lequel permet de reverser le plus de commissions aux banques.

5.1.1 Calcul de la commission de réassurance

Il s'agit de la commission sur résultat, calculée à partir des comptes des réassureurs, qui sera versée à l'assureur.

Ci-dessous, le graphique représente les comptes de résultat technique de l'assureur et du réassureur ainsi que le fonctionnement de la commission de réassurance :

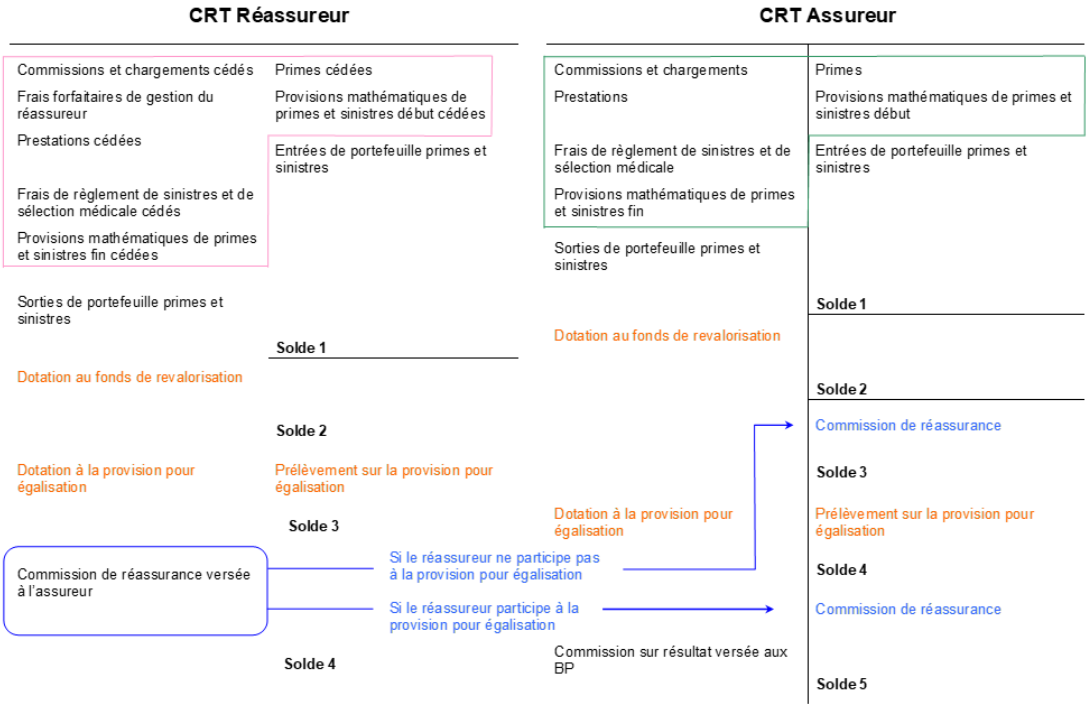

FIGURE 75 – CRT assureur et réassureur

Le calcul de cette commission se fait par :

- Produit commercial (noté *PC*)
- Réassureur (noté *Réass*)
- Numéro de suivi de réassurance (noté *Suivi*)
- Traité juridique de réassurance (noté *Trait*)

Si les objectifs réalisés pour le produit commercial toutes banques confondues (en brut et annualisés) n'atteignent pas les objectifs définis au niveau du traité ou si le troisième solde du compte de résultat (Solde 3, noté *S3*) est négatif, il n'y a pas de commission de réassurance.

Sinon : $Commission\ Réas_{PC/Reass/Trait/Suivi} = Taux\ Com\ IAR0402 * S3_{PC/Reass/Trait/Suivi}$

Une ventilation est faite par :

— Banque (BP/CE)

— Société qui assure (BPCE Vie/ BPCE prévoyance)

— GE (Garantie Elementaire)

La commission de réassurance est ventilée sur les banques ayant dégagé un résultat positif au prorata des soldes 3 ($S3$) positifs.

$Commission\ Réas_{PC/Reass/Trait/Suivi/Banque} = Commission\ Réas_{PC/Reass/Trait/Suivi} * \frac{S3_{Banque>0}}{\sum S3_{Banque>0}}$

Elle est ensuite ventilée au prorata des soldes 3 par GE positifs :

$Commission\ Réas_{PC/Reass/Trait/Suivi/Banque/GE} = Commission\ Réas_{PC/Reass/Trait/Suivi/Banque} * \frac{S3_{Banque/GE>0}}{\sum S3_{Banque/GE>0}}$

5.1.2 Calcul de la commission sur résultat assureur

Il s'agit de la commission sur résultat, calculée à partir des comptes de l'assureur, qui sera versée aux banques.

Prise en compte de la commission de réassurance dans les comptes assureur :

Suivant que le réassureur participe ou pas à la constitution de la provision pour égalisation, la commission de réassurance n'est pas intégrée au même niveau du compte de résultats assureur.

- **Si le réassureur ne participe pas**, la commission de réassurance est intégrée après calcul du 2ème solde et avant le calcul des mouvements sur la provision pour égalisation. Dans ce cas, seule une partie de la commission de réassurance sera reversée aux banques.

  Assiette commission assureur = 2ème solde + prélèvements sur provision pour égalisation - dotation sur provision pour égalisation

- **Si le réassureur participe à la constitution de la provision pour égalisation**, la commission de réassurance est intégrée après le calcul du 4ème solde du compte de résultat assureur.

  Assiette commission assureur = 4ème solde

Le calcul se fait par :

— Produit commercial (PC)

— Banque (BP/CE)

Si les objectifs réalisés pour le produit commercial et l'apporteur (en brut) n'atteignent pas les objectifs définis ou si l'assiette de calcul de la commission est négative, il n'y a pas de commission sur résultat.

Sinon : $Commission\ Ass_{PC/Banque} = Taux\ Com\ IAR0404 * Assiette\ commission_{PC/Banque}$

La ventilation est faite par :

— Société qui assure

— GE

La commission sur résultat assureur est ventilée, sur les GE ayant dégagé un résultat positif, au prorata des « *soldes 2 + prélèvements PE – dotations PE* » positifs. Soit « *S2 pe* » cette assiette :

$Commission\ Ass_{PC/Banque/soc/GE} = Commission\ Ass_{PC/Banque} * \frac{S2\ pe_{GE>0}}{\sum_{PC/Banque} S2\ pe_{GE>0}}$

5.1.3 Calcul de la commission sur résultat réassureur

Il s'agit de la part de la commission de réassurance qui sera versée aux banques.

Suivant le taux de réversion paramétré au niveau du produit commercial, seul une part de la commission de réassurance est prise en compte dans le calcul de la commission sur résultat réassureur versée aux banques.

$Commission\ Réass\ Réversible\ Banque_{PC/Banque/soc/GE} * Taux\ réversion_{PC}$

Si le réassureur ne participe pas à la constitution de la provision pour égalisation (PE) :

La commission sur réassurance versée à l'assureur est utilisée en premier lieu pour couvrir la dotation à la provision pour égalisation. Si pour un PC/Banque : Solde 2 + prélèvements sur la PE > Dotation à la PE :

Alors : *Commission sur résultat réassureur = commission de réassurance à reverser*

Sinon : *Commission sur résultat réassureur = commission de réassurance - dotation à la PE + prélèvement sur la PE + solde 2*

Ensuite il y a une ventilation par GE :

$$Commission\ Réass_{PC/Banque/soc/GE} = Commission\ Réass\ Banque_{PC/Banque} * \frac{S3\ réass_{GE>0}}{\sum_{PC/Banque} S3\ réass_{GE>0}}$$

Si le réassureur participe :

La quote part de la commission de réassurance est versée aux banques selon le taux de réversion paramétré sur le produit.

Depuis quelques années le réassureur ne participe plus à la constitution de la provision pour égalisation donc la commission sur résultat réassureur c'est la commission de réassurance à reverser.

5.1.4 Résultats obtenus

Des simplifications ont été faites afin de pouvoir calculer les différentes commissions.

Commission de réassurance :

La commission de réassurance a été calculée plus simplement comme :

$$Commission\ réassurance = Taux\ de\ commission * Prime\ cédée\ en\ QP$$

où

$$Prime\ cédée\ en\ QP = Taux\ de\ cession\ QP * Assiette\ de\ prime$$

Les taux de commission sont définis dans le traité de réassurance proportionnelle par groupe de risque :

- Décès Toutes Causes (et garantie accessoire décès accidentel) : 25%
- Décès Accidentel (seul) : 35%
- Arrêt de Travail : 22%
- Multirisques Accidents de la Vie : 26%

Commission sur résultat assureur :

La commission sur résultat assureur a été calculée plus simplement comme :

$$Commission\ résultat\ assureur = 50\% * Résultat\ net\ assureur$$

Commission sur résultat réassureur :

La commission sur résultat réassureur a été calculée plus simplement comme :

$$Commission\ résultat\ réassureur = Taux\ de\ PB * Solde\ de\ réassurance\ proportionnelle\ (QP)$$

où $Taux\ de\ PB = 95\%$

Commission totale reversée aux banques :

La commission totale reversée aux banques a été calculée comme :

$$Commission\ reversée\ aux\ banques = 50\% * Commission\ sur\ résultat\ réassureur + 50\% * Commission\ de\ réassurance + Commission\ sur\ résultat\ assureur$$

Voici les résultats obtenus bruts et nets de réassurance :

Type de réassurance	Commission totale reversée aux banques
Sans réassurance	€63,384,772
Avec la structure de réassurance actuelle	€63,446,114
Avec la structure de réassurance amputée de la section A	€63,637,497

TABLE 61 – Commission à reverser aux banques brute et nette de réassurance

Il ressort que la réassurance augmente sensiblement la commission à reverser aux banques d'environ 0.1% pour la structure 2021 et d'environ 0.4% pour la structure 2021 amputée de la section A. Si le but recherché est de maximiser la commission à reverser aux banques, la proposition des courtiers consistant à restructurer l'XS tête est légèrement plus avantageuse.

5.2 La réassurance et IFRS 17

Introduction à IFRS 17

La norme IFRS 17 portant sur les contrats d'assurance a été publiée en Mai 2017 par *l'International Accounting Standards Boards* (IASB), l'organisme international chargé de l'élaboration des normes comptables internationales IFRS et IAS. Elle vient remplacer la norme IFRS 4, une norme provisoire conduisant à des pratiques très divergentes. IFRS 17 se veut adaptée aux particularités comptables associées aux contrats d'assurance. La norme IFRS 17 s'appliquera aux compagnies cotées en bourse à compter du 1er janvier 2023, date repoussée à plusieurs reprises. Elle fonctionne également de pair avec la norme IFRS 9, portant sur les instruments financiers. Cette norme est motivée par plusieurs objectifs cités ci-après :

— Il s'agit d'harmoniser les méthodes d'estimation des passifs d'assurance. Cela résout les problèmes de comparaison créés par IFRS 4 en exigeant la comptabilisation de tous les contrats d'assurance de manière homogène. Sont alors éliminés les différences d'évaluation et de comptabilisation des contrats d'assurance entre pays.

— IFRS 17 s'inscrit dans une recherche de transparence, de granularité et de traçabilité des compagnies d'assurance. Alors que Solvabilité 2 se concentre sur l'aspect prudentiel, IFRS met l'accent sur l'aspect financier.

— IFRS 17 doit également favoriser la cohérence avec les autres normes IFRS intervenant dans le secteur de l'assurance. C'est notamment le cas d'IFRS 19, qui fixe des règles pour la comptabilisation des instruments financiers à l'actif.

— La norme a aussi pour objectif de donner une représentation au plus proche de la réalité économique des organismes d'assurance. Il s'agit de valoriser finement les diverses options et garanties d'assurance.

Bilan IFRS 17

IFRS 17 a un intérêt de communication et de transparence financière pour les investisseurs et diffère ainsi de la norme Solvabilité II dans son esprit. En effet, alors que la norme IFRS 17 s'emploie à donner une vision purement économique de l'assureur, Solvabilité II donnera des consignes prudentielles garantissant la pérennité de l'assureur. Le bilan IFRS 17 est ainsi différent du bilan Solvabilité II, afin d'être en accord avec ses objectifs.

A l'actif, les instruments financiers détenus par la compagnie d'assurance sont valorisés selon la norme IFRS 9. Ces actifs peuvent être comptabilisés par coût amorti, ou en juste valeur. Le coût amorti s'applique aux instruments de créance, comme les obligations que l'entreprise compte conserver jusqu'à échéance. Cette méthode de coût amorti permet de stabiliser le résultat. A l'inverse, les actifs que l'assureur a l'intention de revendre sont comptabilisés à leur juste valeur. Cette méthode est plus volatile et traduit donc l'aspect court-terme de tels placements.

Au passif sous la norme IFRS 17, les provisions techniques se composent des trois postes suivants :

- **Marge de service contractuelle (CSM) :** ce poste permet de lisser le gain à la souscription sur la durée de couverture du contrat. Les bénéfices sont alors libérés au fur et à mesure que les services d'assurance sont fournis durant la période de couverture du contrat. Les pertes issues de contrats onéreux sont en revanche immédiatement comptabilisés dans le résultat.
- **Best Estimate (BE) :** il s'agit de l'estimation des *cash-flows* futurs actualisés, de la manière la plus fidèle possible. Cette notion est très proche du *Best Estimate* de Solvabilité II.
- **Ajustement pour risque :** ce montant s'ajoute au *Best Estimate* afin de couvrir les quantiles de risques les plus élevés. Il vient compenser la volatilité du BE.

Tous les contrats d'assurance ne sont pas comptabilisés de la même manière sous IFRS 17. En effet, la norme comprend trois différents modèles comptables :

— Le modèle *Building Block Approach* (BBA)

— Le modèle *Premium Allocation Approach* (PAA)

— Le modèle *Variable Fee Approach* (VFA)

Modèles BBA

Le modèle BBA sert de base à la comptabilité en IFRS 17. Cette méthode s'applique à tous les contrats sans participation directe et n'entrant pas dans le périmètre de la méthode PAA. La méthode BBA se base sur une construction en blocs, avec une CSM relâchée sur plusieurs années.

Modèles PAA

L'IASB propose une méthode simplifiée appelée *Premium Allocation Approach*. Ce modèle constitue une méthode simplifiée pour comptabiliser les contrats d'assurance dont la période de couverture est inférieure à 1 an. Ce modèle est proche du modèle comptable français traditionnel pour l'assurance non-vie. En effet, comme la durée des contrats est inférieure à 1 an, il n'est pas nécessaire de constituer une CSM. Les primes et les profits sont associés la même année. Les provisions techniques pour les sinistres se constituent alors uniquement du BE et de l'ajustement pour risque.

Pour utiliser cette méthode il faut que le contrat d'assurance respecte certaines conditions. Le contrat en question doit avoir une période de couverture inférieure à un an ou bien, si ce n'est pas le cas, il faut que la méthode PAA constitue une approximation de comptabilisation raisonnable. Les contrats d'assurance étudiés dans ce mémoire, ayant une durée de couverture annuelle, sont éligibles au modèle PAA.

Modèles VFA

La méthode VFA est un modèle comptable réservé aux contrats participatifs directs. Un contrat à participation directe est un contrat qui spécifie explicitement dans ses termes qu'il existe une participation aux bénéfices financiers. De plus, il doit reverser une part suffisamment importante des bénéfices financiers aux assurés.

Granularité et frontière des contrats

Un aspect important de la norme IFRS 17 est la nouvelle granularité imposée. Les notions suivantes sont introduites :

- **Portefeuille :** les portefeuilles sont définis comme des groupes de contrats gérés ensemble portant sur les mêmes risques.
- **Cohorte annuelle :** un portefeuille se divise en cohortes annuelles, qui sont des groupes comptables issus d'une même génération. Cette division s'effectue dès l'émission des contrats de façon à suivre la CSM.
- **Rentabilité :** au sein de chaque cohorte, sont distingués plusieurs groupes de contrats, en fonction de leur rentabilité attendue. Sont distingués ainsi les contrats onéreux, les contrats profitables sans risque de devenir onéreux, et les autres.

La notion de frontière de contrat est également particulière sous la norme IFRS 17, et se distingue des pratiques de Solvabilité II.

— La date de début du contrat sous IFRS 17 est celle du début de la couverture. Sous Solvabilité II, il s'agit en revanche de la date de signature du contrat.

— Selon la norme IFRS 17, les primes futures ne sont pas prises en compte. Dans le cadre de Solvabilité II, elles sont comptabilisées, sauf dans le cas où l'assureur dispose d'un droit unilatéral de résilier ou de retarifer le contrat.

La réassurance sous IFRS 17

Les contrats de réassurance détenus par un assureur font l'objet de dispositions spécifiques dans le cadre de la norme IFRS 17. Les exigences relatives à la réassurance sous IFRS 17 suivent la logique suivante : les contrats de réassurance détenus sont généralement des actifs plutôt que des passifs et les entités qui détiennent ces contrats paient généralement une marge au réassureur comme part de la prime, plutôt que de faire des profits.

Ainsi, la norme exige de comptabiliser séparément les contrats de réassurance des contrats d'assurance sous-jacents auxquels ils sont rattachés. En effet, une entité qui détient un contrat de réassurance ne peut pas réduire les montants qu'elle doit à l'assuré par les montants qu'elle s'attend à recevoir du réassureur.

L'entité cédante mesure les contrats de réassurance qu'elle détient en appliquant une version modifiée du modèle général ou, si le contrat est éligible, la méthode PAA. Le modèle VFA quant à lui, n'est pas applicable aux contrats de réassurance cédés. Un contrat de réassurance est également représenté par les postes de BE, de CSM et d'ajustement pour risque. Ils apparaissent à l'actif du bilan IFRS 17, et présentent les spécificités suivantes :

- Marge de service contractuelle (CSM) : contrairement aux contrats d'assurance, la CSM des contrats de réassurance peut être positive ou négative. Il n'y a donc pas de notion de contrat onéreux lorsqu'il s'agit de réassurance.
- Best Estimate (BE) : comme pour les contrats d'assurance sous-jacents, l'assureur doit utiliser des hypothèses de projection des *cash-flows* cohérentes pour mesurer le BE d'un contrat de réassurance détenu. Ce BE de réassurance doit également intégrer un ajustement pour traduire le risque de défaut du réassureur. Cet ajustement intégrera également la notion de collatéral s'il y-en a un.

Le traitement de la réassurance sous IFRS 17 reste un sujet relativement complexe pour plusieurs raisons. La difficulté principale réside dans le fait que les règles de comptabilisation ne sont pas toujours équivalentes entre un contrat de réassurance et les contrats d'assurance sous-jacents, ce qui donne lieu à des "désordres comptables". Plus concrètement, voici quelques points d'attention relatifs à la réassurance sous IFRS 17 :

— Différents modèles peuvent être utilisés pour la réassurance et les contrats d'assurance sous-jacents. La réassurance peut être comptabilisée en modèle général lorsque le risque contractuel sous-jacent est en PAA ou VFA.
— Il y a une différence dans la frontière des contrats entre les contrats de réassurance et contrats d'assurance.
— Au niveau de la CSM, différents niveaux de granularité sont constatés, ainsi que différentes cadences de libération de la CSM.
— Des difficultés peuvent naître du taux de change, lorsqu'un contrat de réassurance couvre des risques libellés en plusieurs devises.

Cas de la prévoyance individuelle chez Natixis Assurances

Les périmètres étudiés dans ce mémoire concernent les produits temporaires décès toutes causes et accidentel, ainsi que les produits en arrêt de travail couvrant l'ITT, l'IPT et l'IPP. Tous ces produits sont annuels, avec renouvellement par tacite reconduction. Il en va de même pour les contrats de réassurance qui s'y rattachent.

Ainsi, pour modéliser les contrats de réassurance tout comme les contrats d'assurance sous-jacents, il faut recourir au modèle simplifié PAA. La décomposition du passif d'assurance est ainsi similaire, et de nombreuses difficultés sont ainsi évitées. Puisque le modèle simplifié est utilisé, il n'y a pas d'écart significatif entre la vision IFRS 17 et la vision French GAAP. Il subsiste quelques sources d'écarts entre les deux normes, par exemple au niveau des règles de provisionnement ou du traitement de l'actualisation. Mais ces différences ne sont pas très considérables.

Le recours au modèle PAA pour comptabiliser la réassurance comme son sous-jacent limite ainsi l'intérêt d'une étude actuarielle de nature technique sur l'application d'IFRS 17 à ce périmètre. Il est important de souligner que l'entrée en vigueur d'IFRS 17 sur l'activité de prévoyance individuelle soulève de nombreux enjeux opérationnels. Par exemple, la disponibilité de données à la maille d'un traité de réassurance constituera un sujet d'attention majeur.

Malheureusement, ce mémoire ne rendra pas compte de l'impact du nouveau plan de réassurance sous la norme IFRS 17, cela constitue donc une piste éventuelle d'approfondissement.

6 Chapitre 6 - Démarche d'optimisation

L'objectif de cette partie est de modéliser le problème d'optimisation de réassurance afin de confronter un grand nombre de structures de réassurance entre elles, en vue de déterminer quelle serait la structure la plus optimale.

Pour ce faire, l'étude va se baser sur un seul périmètre de risque : le risque Décès Toutes Causes. La démarche peut être adaptée avec la même logique sur d'autres périmètres de risque.

6.1 Construction de la base de données fictives

Pour construire une base de données fictives réaliste, il faut définir quelles sont les variables d'intérêt pour le problème d'optimisation de réassurance et générer leurs valeurs aléatoirement en reprenant les caractéristiques principales du portefeuille Décès Toutes Causes de BPCE.

Les cinq variables indispensables sont :

— le numéro identifiant client

— l'âge de l'assuré

— le sexe de l'assuré

— le montant garanti en cas de décès

— le montant de prime annuelle hors taxe

Les caractéristiques conservées pour rendre les données réalistes sont :

— Le nombre de têtes assurées dans le portfeuille DCTC - BPCE

— L'âge moyen du portefeuille DCTC - BPCE

— La répartition hommes/femmes du portefeuille DCTC - BPCE

— La distribution des montants garantis du portefeuille DCTC - BPCE

— La distribution des montants de prime du portefeuille DCTC - BPCE

Construction du numéro client :
Le numéro client doit être unique donc les valeurs prises vont simplement de 1 à n, avec n le nombre de têtes assurées dans le portefeuille DCTC de BPCE, n = 1 179 099.

Construction de la variable âge de l'assuré :
L'âge a été généré aléatoirement dans un intervalle allant de 18 ans à 80 ans. L'âge moyen du portefeuille DCTC fictif est de **49 ans**, cet âge correspond également à l'âge médian du portefeuille.

Construction de la variable sexe de l'assuré :
Le sexe de l'assuré a été généré aléatoirement avec une loi Binomiale de paramètre n le nombre de têtes assurées et p la probabilité d'être un homme, qui correspond à la proportion d'hommes en portefeuille DCTC chez BPCE, $p = 56\%$.

Construction de la variable capitaux sous risques :
Ne disposant que des capitaux sous risque minimum et maximum du portefeuille DCTC de BPCE, la distribution des capitaux sous risque a été construite aléatoirement en respectant les bornes min et max, et en donnant un plus grand poids en portefeuille aux capitaux inférieurs à 100k€ pour plus de réalisme :

— 99% du portefeuille aura un montant garanti aléatoire entre 15€ et 100k€

— 0.8% du portefeuille aura un montant garanti aléatoire entre 100k€ et 800k€

— 0.2% du portefeuille aura un montant garanti aléatoire entre 800k€ et 4,5M€

En procédant de la sorte, la somme des capitaux sous risque totale obtenue est de 31,5M€ contre 31.3M€ dans le portefeuille DCTC de BPCE. Cette contrainte supplémentaire étant respectée, cela permet de se conforter dans le choix de cette distribution aléatoire.

Construction de la prime annuelle hors taxe :
Pour obtenir une prime réaliste en fonction des variables déjà créées, la prime a été calculée à l'aide des nombres de commutation dépendant de l'âge et du montant garanti en cas de décès.

Calcul de la prime pure dans le cadre d'un contrat d'assurance temporaire décès :

- x : âge de l'assuré à l'origine du contrat
- T : durée du contrat temporaire décès (hypothèse : $T = 85 - x$)
- P : prime pure annuelle sur T années
- i : taux technique (i = 0.5%)
- v : taux d'actualisation $v = \frac{1}{1+i}$
- K : montant des capitaux sous risque
- w : âge limite des tables de mortalité
- l_x : nombre de survivants espérés à l'âge x parmi la cohorte initiale observée
- d_x : nombre de décès espérés à l'âge x parmi la cohorte initiale observée
- ${}_tp_x$: probabilité qu'un individu d'âge x survive dans les t années à venir
- ${}_tq_x$: probabilité qu'un individu d'âge x décède dans les t années à venir
- ${}_{t|}q_x$: probabilité qu'un individu d'âge x décède dans la $t+1^{eme}$ année à venir

Pour rappel, les nombres de commutation sont :

$$D_x = v^x * l_x$$
$$N_x = \sum_{j=0}^{w-x} D_{x+j}$$
$$C_x = v^{x+1} * d_x$$
$$M_x = \sum_{j=0}^{w-x} C_{x+j}$$

$$P = \frac{A_{x:\bar{T}|}}{\ddot{a}_{x:\bar{T}|}}$$

où

$$A_{x:\bar{T}|} = K * (A_x - v^T * {}_Tp_x * A_{x+T}) = K * (\frac{M_x}{D_x} - \frac{D_{x+T}}{D_x} * \frac{M_{x+T}}{D_{x+T}}) = K * \frac{M_x - M_{x+T}}{D_x}$$

avec

$$A_x = \sum_{k=0}^{w-x} v^{k+1} * {}_{k|}q_x = \sum_{k=0}^{w-x} \frac{v^{k+x+1} * (l_{x+k} - l_{x+k+1})}{v^x * l_x} = \frac{1}{D_x} \sum_{k=0}^{w-x} v^{x+k+1} * d_{x+k} = \frac{M_x}{D_x}$$

et

$$\ddot{a}_{x:\bar{T}|} = \ddot{a}_x - v^T * {}_Tp_x * \ddot{a}_{x+T} = \frac{N_x}{D_x} - \frac{D_{x+T}}{D_x} * \frac{N_{x+T}}{D_{x+T}} = \frac{N_x - N_{x+T}}{D_x}$$

avec

$$\ddot{a}_x = \sum_{k=0}^{w-x} v^k * {}_kp_x = \sum_{k=0}^{w-x} \frac{v^{k+x}}{v^x} * \frac{l^{k+x}}{l^x} = \frac{1}{D_x} \sum_{k=0}^{w-x} D_{x+k} = \frac{N_x}{D_x}$$

Finalement,

$$P = K * \frac{M_x - M_{x+T}}{D_x} * \frac{D_x}{N_x - Nx+T} = K * \frac{M_x - M_{x+T}}{N_x - Nx+T}$$

Les tables utilisées dans le cadre de cette tarification, sont les tables de mortalité réglementaires TH/TF 00-02 préconisées par le Code des Assurances. Ces tables ainsi que les nombres de commutation associés peuvent être consultés en annexe E.

Une fois que tout le portefeuille fictif est tarifé, la base de travail comporte alors toutes les informations nécessaires afin de poursuivre l'étude.

6.2 Modélisation des sinistres

Pour modéliser les sinistres Décès Toutes Causes, la méthode de Monte Carlo a été implémentée de la même manière que dans l'étude a priori, par simulation sur un horizon d'un an (voire section 4.3. de ce mémoire). Les sinistres graves seront ceux dont le montant de prestation est très élevé, par exemple excédant le quantile à 0.5% de la distribution de tous les montants garantis. Dans le portefeuille fictif créé, le quantile de seuil $\alpha = 0.5\%$ est de 194 457€.

6.3 Problème d'optimisation

La recherche d'une structure de réassurance optimale peut s'appréhender comme un problème mathématique d'optimisation sous contraintes. Il est ainsi nécessaire de définir les mesures et indicateurs pouvant intervenir dans un tel problème, ainsi que les contraintes qui s'y rattachent.

6.3.1 Approche moyenne-variance

Cette approche est classique pour résoudre un problème d'optimisation de réassurance et est équivalente à la recherche de portefeuilles optimaux selon la théorie élaborée par Markowitz. Le principe est de trouver les portefeuilles qui présentent les meilleurs couples rendement/risque.

Dans ce cas le problème d'optimisation consiste à maximiser le résultat espéré sous contrainte de variance du résultat inférieure à un seuil de variance minimum :

$$Max(\mathbb{E}(Resultat))\ s.c\ \mathbb{V}(Resultat) \leq (V_{min})$$

Où (V_{min}) est la variance minimum.

De Finetti (1940) a mené des études sur ce sujet, en définissant un taux de cession optimal pour des traités en Quote-Part sous des hypothèses simplificatrices. La résolution analytique s'appuie sur le Lagrangien et le théorème de Kuhn-Tucker.

Il est possible d'effectuer les calculs d'espérance et de variance du résultat pour plusieurs structures de réassurance, et de repérer les structures efficientes. Une structure de réassurance est dite efficiente lorsqu'il est impossible de trouver une autre structure présentant une espérance de résultat plus élevée, et une variance de résultat plus faible. Les résultats peuvent être représentés sur un graphique avec en ordonnée l'espérance du résultat et en abscisse la variance du résultat. Une frontière efficiente peut être tracée pour représenter l'ensemble de toutes les structures de réassurances optimale selon ces métriques.

D'autres mesures de risque peuvent remplacer la variance dans l'approche moyenne variance pour mesurer les risques.

6.3.2 Autres métriques de mesure de risques

La *Value at Risk* (VaR) au seuil α est le quantile d'ordre $1-\alpha$ de la distribution du résultat de l'assureur. Elle correspond à un résultat qui ne devrait être performé qu'avec une probabilité donnée sur un horizon temporel donné. La VaR au seuil $\alpha = 0.5\%$ constitue un proxy pour le calcul du SCR :

$$VaR_\alpha = inf(x \in \mathbb{R} : \mathbb{P}(Resultat \geq x) \geq 1-\alpha)$$

C'est donc le montant minimal de capital requis pour ne pas être insolvable avec un bon niveau de confiance.

la *Tail Value at Risk* (TVaR) au seuil α est l'espérance du résultat de l'assureur sachant que celle-ci est inférieure à la VaR au seuil α. C'est-à-dire, que le résultat moyen est donné dans les α pires cas pour l'assureur.

$$TVaR_\alpha(Resultat) = \mathbb{E}(Resultat|Resultat \leq VaR_\alpha(Resultat))$$

$$TVaR_\alpha(Resultat) = VaR_\alpha(Resultat) + \tfrac{1}{1-\alpha}\mathbb{E}(Resultat - VaR_\alpha(Resultat))^+$$

Le second terme est la perte moyenne au delà de la valeur à risque, et est formellement équivalent à une option. Pour plus d'information sur comment estimer une Tail VaR avec une approche par simulation le lecteur est invité à consulter [8] A. Charpentier F. Planchet (2006)

6.4 Les structures de réassurance considérées

Plusieurs structures de réassurance seront considérées lors de ce problème d'optimisation. Il sera question de tester plusieurs combinaison de traités de réassurance sur le risque étudié, et de jouer sur les paramètres et garanties de ces traités.

Ce sont 18 couvertures de réassurance qui seront appliquées aux charges et primes simulées pour le périmètre DCTC :

- 3 couvertures QP seront testées avec des taux de cession différents : 10%, 15% et 20%

- 6 XS tête seront testés avec 3 variations sur la priorité (90k, 100k, 110k) avec portée fixe à 5000k et 3 variations sur la portée (800k, 1000k, 4000k) avec priorité fixe à 100k
- 9 couvertures du même type que le plan de réassurance 2021 mis en place chez Natixis Assurance, combinant une QP plafonnée et un XS tête avec différents paramètres. Les plafonds des QP correspondent toujours aux priorités des XS.

Les différentes mesures de risque et de rendement retenues sont présentées pour chaque couverture de réassurance testée dans le tableau ci-dessous :

		Résultats des 200 simulations de Monte Carlo			
	Couvertures de réassurance	VaR à 99,5%	TVaR	Resultat espéré	volatilité
A	QP 10%	41 461 266 €	41 575 401 €	40 503 467 €	389 894 €
B	QP 15%	39 168 332 €	39 366 064 €	38 341 348 €	351 320 €
C	QP 20%	36 855 444 €	36 991 828 €	36 103 495 €	327 837 €
D	90k XS 5000k	45 865 645 €	46 055 830 €	45 036 378 €	399 813 €
E	100k XS 5000k	46 528 709 €	46 528 709 €	45 053 159 €	429 865 €
F	110k XS 5000k	46 280 557 €	46 312 594 €	45 068 124 €	410 157 €
G	100k XS 800k	46 200 057 €	46 528 709 €	45 053 159 €	429 865 €
H	100k XS 1000k	46 280 557 €	46 312 594 €	45 066 980 €	410 724 €
I	100k XS 4000k	46 068 074 €	46 194 890 €	44 993 110 €	441 768 €
J	QP 10% plafond 90k et 90k XS 5000k	41 460 527 €	41 468 046 €	40 555 835 €	380 318 €
K	QP 10% plafond 100k et 100k XS 5000k	41 669 815 €	41 736 050 €	40 613 947 €	373 503 €
L	QP 10% plafond 110k et 110k XS 5000k	41 508 458 €	41 558 668 €	40 577 202 €	372 182 €
M	QP 15% plafond 90k et 90k XS 5000k	38 957 893 €	39 014 936 €	38 310 949 €	329 765 €
N	QP 15% plafond 100k et 100k XS 5000k	39 091 199 €	39 199 187 €	38 327 486 €	336 091 €
O	QP 15% plafond 110k et 110k XS 5000k	39 038 982 €	39 056 406 €	38 334 207 €	295 706 €
P	QP 20% plafond 90k et 90k XS 5000k	36 846 453 €	36 887 023 €	36 073 598 €	314 445 €
Q	QP 20% plafond 100k et 100k XS 5000k	36 788 544 €	36 844 076 €	36 082 360 €	301 149 €
R	QP 20% plafond 110k et 110k XS 5000k	36 685 737 €	36 802 403 €	36 052 941 €	290 217 €
S	Pas de réassurance	46 200 057 €	46 528 709 €	45 068 698 €	417 487 €

FIGURE 76 – Les différentes métriques pour les structures de réassurance testées

Interprétation des résultats pour les QP :

Plus le taux de cession de la QP est élevé, plus la volatilité du résultat diminue, plus la VaR à 99.5% et la TVaR diminuent. Si l'on considère la VaR à 99.5% comme un proxy de SCR alors on peut calculer le gain en SCR comme la différence entre le SCR sans réassurance et avec réassurance. Pour la structure C, il y a presque 10M€ de gain en SCR, mais le coût de la réassurance est presque tout aussi élevé si on regarde le delta entre résultat espéré avec et sans réassurance.

Interprétation des résultats pour les XS tête :

Dans ce tableau, les couvertures de réassurance les plus rentables sont les 6 couvertures en excédent de sinistre par tête.

Parmi les 6 couvertures en XS tête, celle présentant la plus faible volatilité du résultat est celle ayant la priorité la plus basse de 90k et la portée la plus élevée de 5000k. Ainsi la couverture de réassurance D est la couverture présentant le meilleur couple rendement/risque avec la volatilité du résultat comme mesure de risque.

En s'intéressant au gain en SCR, l'XS offrant le gain le plus élevé est aussi celui de la couverture D. Toutefois ce gain est bien plus faible que celui offert par la QP de 20%.

Interprétation des résultats pour les combinaisons QP - XS tête :

Les paramètres testés sont les taux de cessions des QP et les priorité des XS. Plusieurs observations ressortent :

- A taux de cession QP fixe, plus la priorité de l'XS est faible, meilleures sont les mesures de risque.
- A priorité d'XS fixe, plus le taux de cession de la QP est élevé, meilleures sont les mesures de risque.
- Les meilleurs rendements sont obtenus pour les taux de QP moins élevés.

Analyse graphique des résultats pour les différentes couvertures testées :

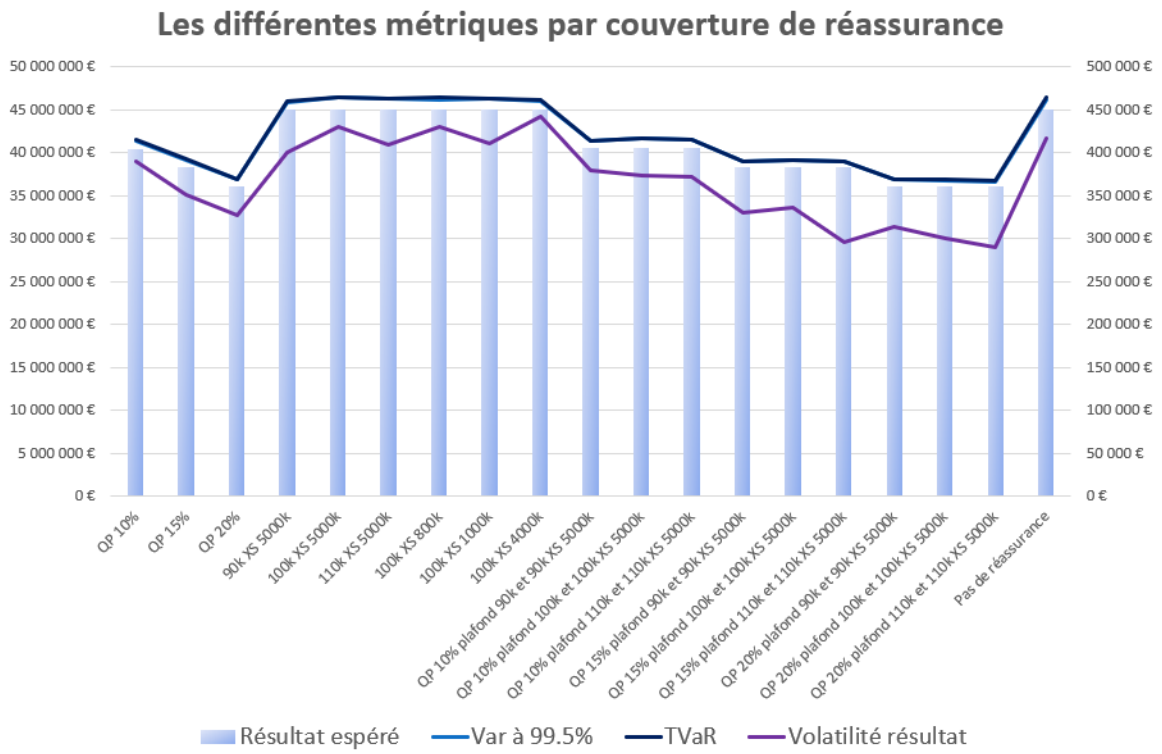

FIGURE 77 – Les différentes métriques pour les structures de réassurance testées

Les courbes VaR et TVaR étant confondues il suffit de s'intéresser à la VaR. Selon la mesure de risque VaR, le top 3 des couvertures ayant le meilleur rendement / risque si la contrainte imposée est par exemple VaR $<$ 45M€ est :

— QP 10% plafond 90k et 90k XS 5000k
— QP 10% plafond 110k et 110k XS 5000k
— QP 10% plafond 100k et 100k XS 5000k

Selon la mesure de risque de la volatilité, le top 3 des couvertures ayant le meilleur rendement / risque si la contrainte imposée est par exemple volatilité $<$ 400k€ est :

— 90k XS 5000k
— QP 10% plafond 100k et 100k XS 5000k
— QP 10% plafond 110k et 110k XS 5000k

Si l'assureur souhaite respecter les deux critères suivants : VaR $<$ 45M€ et volatilité $<$ 400k€ il faudra alors lui conseiller une QP de 10% plafonnée et un XS tête de priorité 100k ou 110k et de portée 5000k. le meilleur résultat attendu sera obtenu avec une priorité de 100k.

Le graphique ci-dessous représente les couples volatilité et résultat espéré obtenus pour chacune des structures de réassurance testées :

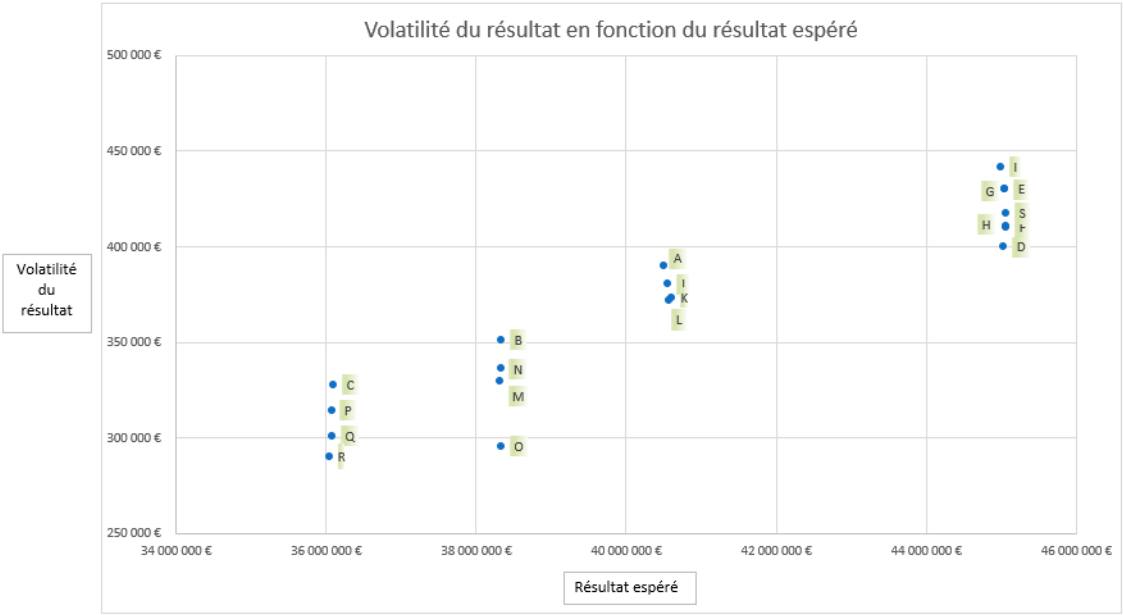

FIGURE 78 – Volatilité en fonction du résultat espéré pour les différentes structures de réassurance

Si l'assureur souhaite maximiser son résultat espéré tout en minimisant la volatilité de son résultat c'est la structure de réassurance D qui lui sera conseillée c'est à dire l'XS tête 90k XS 5000k.

Sur ce graphique il ressort également que les structures I, G et E offrent une moins bonne volatilité du résultat que sans réassurance (structure S : aucune réassurance) pour un résultat espéré à peu près similaire. Ces structures ne sont donc pas conseillées du tout. Elles correspondent respectivement à l'XS tête 100k XS 4000k, 100k XS 800k et 100k XS 5000k.

Conclusion

L'objectif de ce mémoire était l'étude approfondie du plan de réassurance 2021 sur le périmètre de la prévoyance individuelle en gestion centralisée, ainsi que la reconsidération de la stratégie de réassurance pour l'année 2022. Concernant l'évaluation du plan de réassurance actuel, des études a posteriori et a priori ont été menées. L'étude de la structure de réassurance a posteriori a permis de juger l'efficacité que cette structure aurait pu avoir sur l'expérience passée de Natixis Assurances. Et l'étude a priori a permis d'estimer l'efficacité attendue du nouveau plan de réassurance sur l'année 2021. Enfin, une brève étude de l'impact de la proposition des courtiers en réassurance a permis une comparaison avec l'impact du plan de réassurance actuel.

Résultats de l'étude a posteriori : L'application du plan de réassurance 2021 aux sinistres passés a permis le calcul puis l'interprétation d'indicateurs comptables a posteriori. Ces indicateurs ont témoigné d'un coût très élevé des traités de réassurance en Quote-Part vis-à-vis de la charge réelle cédée en Quote-Part, en particulier pour les périmètres de risque décès toutes causes et décès accidentel. Les couvertures en XS tête de la section A et de la section B ont, quant à elles, un coût moindre en comparaison avec la couverture proportionnelle des QP, la section A permet une réelle diminution du ratio S/P, particulièrement pour le périmètre décès toutes causes, en revanche la section B n'a presque pas d'incidence sur le S/P brut global. L'efficacité du plan de réassurance n'est certes pas flagrante selon ces indicateurs comptables, néanmoins l'objectif premier du processus de réassurance reste la diminution de la volatilité du résultat, et de ce côté il y a une baisse notable de la volatilité du résultat dans les cinq dernières années qui se chiffre à presque 29%. Au global, le plan de réassurance 2021 aurait augmenté la rentabilité de la prévoyance individuelle d'à peine 1% en moyenne sur les cinq dernières années.

Si le plan de réassurance ne s'est pas avéré être d'une efficacité incontestable a posteriori, une des raisons qui pourrait justifier cela est qu'il a été conçu spécifiquement pour l'année 2021, c'est-à-dire en tenant compte des nouveaux produits commercialisés récemment. L'étude a priori a justement permis de vérifier cela.

Résultats de l'étude a priori : Les modélisations des charges de sinistres futurs pour chaque périmètre de risque, sur le principe de Monte Carlo ont rendu possible l'obtention d'une distribution des indicateurs comptables retenus. Le S/P brut de réassurance sur tout le périmètre PI est diminué en moyenne de 14.5% par le nouveau plan de réassurance, il y a même un scénario pour lequel la diminution s'élève à 21.2%. De plus la structure de réassurance est en moyenne plus de deux fois moins coûteuse a priori qu'à posteriori, et permet d'augmenter la rentabilité de la prévoyance individuelle de 9.1% en moyenne. Par ailleurs, la volatilité des sinistres conservés et la volatilité du résultat technique sont toutes deux diminuées en moyenne de 46.8%, l'efficacité estimée a priori du nouveau plan de réassurance est donc très importante selon ces indicateurs. Par ailleurs, le calcul et l'interprétation des indicateurs d'efficacité sous solvabilité 2 montrent qu'en dépit du coût de la couverture de réassurance, celle-ci apporte d'autres avantages : celui d'augmenter le ratio de solvabilité et celui d'engendrer un gain en SCR. Puisque le ratio de solvabilité est augmenté, Natixis Assurances dispose de suffisamment de fonds propres pour faire face à une probabilité de ruine bicentenaire. La probabilité de ruine de l'entreprise sur le périmètre de la prévoyance individuelle est même diminuée à horizon 1 an grâce au programme de réassurance 2021.

Impact de la suppression de la section A : Les mêmes indicateurs comptables ont été calculés après application du plan de réassurance amputé de la section A sur les charges de sinistres simulées. La comparaison avec le plan actuel a été faite à partir des indicateurs globaux, comme la volatilité de la charge des sinistres conservés et la volatilité du résultat technique. Le plan de réassurance amputé de la section A diminue la volatilité des sinistres conservés de 44.7% ce qui est tout à fait convenable, mais cela reste une baisse inférieure à celle obtenue avec le plan de réassurance actuel qui est de 46.8%. En ce qui concerne la baisse de volatilité du résultat, encore une fois le plan de réassurance actuel offre une plus grande diminution de la volatilité du résultat et de ce fait stabilise mieux le résultat de la cédante, que le plan de réassurance amputé de la section A. En se basant sur ces indicateurs seuls, la plan actuel est plus efficace que le plan de réassurance sans la section A. Cependant avec l'étude des commissions reversées aux banques, il est ressorti que la structure de réassurance amputée de la section A permettrait de reverser légèrement plus de commissions aux banques que la structure actuelle, mais cela reste très marginal et ne devrait pas bouleverser la conclusion précédente. De même pour la faible économie réalisée en coût de réassurance.

Intérêt professionnel de ce mémoire :

Pour répondre à la problématique de ce mémoire, un tableau de bord d'indicateurs d'efficacité a été conçu à l'aide du logiciel *R* et plus particulièrement *Rmarkdown*.

— Cet outil fournit une vue détaillée périmètre par périmètre ainsi qu'une vue d'ensemble dynamique du plan de réassurance 2021.

— La sortie de cet outil est entièrement automatisée et le code *Rmarkdown* ayant servi à l'obtention des résultats est entièrement traçable et auditable.
— Il est possible de capitaliser, dans les prochaines années, sur l'outil créé, en mettant à jour les bases comptables, la base d'exposition, les lois biométriques (servant aux simulations) et les paramètres du plan de réassurance à appliquer.
— Ce tableau de bord dynamique constitue une aide à la décision quant à la stratégie de réassurance en Prévoyance Individuelle et atteint, en ce sens, un de ses principaux objectifs.

Les limites et pistes d'amélioration de ce mémoire :

Faute d'identifiants communs et les fichiers étant anonymisés, les cumuls entre le produit CBI-CBM géré par le service ADE, et la PI n'ont pas pu être identifiés ni pris en compte. Pour l'évaluation du plan de réassurance complet, le rapprochement entre les données du service ADE et les données du service PI, constituerait un véritable apport afin de mieux calibrer la stratégie de réassurance.

Dans la section 4.1. le seuil des gros capitaux sous risque a été fixé de manière arbitraire, en lien avec la priorité des excédents de sinistres, mais la détermination de ce seuil aurait pu faire l'objet d'une étude renforcée avec notamment la théorie des valeurs extrêmes.

Pour la prédictions des montants de sinistres MAV, un modèle paramétrique en coût/fréquence pourrait être implémenté, ceci constitue une piste d'amélioration éventuelle de la modélisation a priori sur le périmètre MAV.

Les indicateurs sous solvabilité 2 ont été obtenus après avoir capitalisé sur un outil développé en interne par le service de réassurance, cet outil ne prend pas en compte les cumuls de sinistres par tête car les *models points*, sur lesquels il est construit, sont trop aggrégés. Par conséquent, la section B du plan de réassurance n'a pas pu être étudiée selon les indicateurs S2 et le plan de réassurance amputé de la section A non plus.

Enfin, la norme IFRS 17 n'a pu être que très brièvement abordée dans ce mémoire, et pourrait faire l'objet d'une étude ultérieure plus renforcée.

Table des figures

1 Plan de réassurance 2021 . . . vii
2 Plan de réassurance 2021 . . . xiii
3 Organigramme du groupe BPCE et ses filiales . . . 2
4 Missions principales réalisées par la prévoyance individuelle . . . 3
5 Graphique d'illustration QP . . . 9
6 Graphique d'illustration XP . . . 10
7 Graphique d'illustration XS . . . 11
8 Plan de réassurance 2020 . . . 12
9 Plan de réassurance 2021 . . . 13
10 Diagramme DWH PI . . . 16
11 Graphique de distribution des états des contrats du périmètre DCAT entre 2016 et 2020 . . . 23
12 Distribution du nombre de contrats du périmètre DCAT par réseau . . . 24
13 Distribution du nombre de contrats du périmètre DCAT par risque . . . 24
14 Poids des primes par risque et par année . . . 25
15 Distribution des montants de prestation du périmètre DCAT dans les 5 dernières années . . . 27
16 Graphique représentatif des cumuls de garanties par tête sur le périmètre DCTC . . . 28
17 Graphique représentatif des cumuls de garanties par tête sur le périmètre DCAC . . . 28
18 Graphique représentatif des cumuls de garanties par tête sur le périmètre AT . . . 29
19 Graphique représentatif des cumuls de garanties par tête sur le périmètre DCAT . . . 30
20 Graphique de distribution des états des contrats du périmètre MAV entre 2016 et 2020 . . . 31
21 Distribution du nombre de contrats du périmètre MAV par risque . . . 32
22 Distribution des primes annuelles du périmètre MAV des 5 dernières années . . . 32
23 Distribution des prestations passées MAV . . . 33
24 Distribution du nombre de cumuls par têtes au sein du périmètre MAV . . . 34
25 Poids des cumuls par risques au sein du portefeuille PI . . . 35
26 Poids des cumuls de risques parmi les cumuls possibles . . . 36
27 Poids des règlements comptables des sinistres par risque . . . 37
28 Analyse de la couverture QP a posteriori DCTC - BP . . . 39
29 Analyse de l'XS tête par périmètre a posteriori DCTC - BP . . . 40
30 Analyse de la couverture QP a posteriori DCAC . . . 42
31 Analyse de l'XS tête par périmètre a posteriori DCAC . . . 43
32 Comparaison des ratios S/P pour l'AT . . . 44
33 Règlements des sinistres cumulés par tête, par année de survenance . . . 46
34 graphique d'efficacité de la section B a posteriori . . . 48
35 Partage de la charge par année de survenance . . . 49
36 Primes cédées à la réassurance les 5 dernières années . . . 50
37 Comparaison des soldes de réassurances a posteriori . . . 51
38 Position courbes S/P brut et net de réassurance a posteriori . . . 52
39 Evolution du résultat brut et net de réassurance a posteriori . . . 53
40 Evolution des marges techniques brutes nettes et cédées a posteriori . . . 54
41 CSR maximaux par âge et sexe DCTC BP . . . 56
42 Nombre de tête ayant des CSR élevés par âge et sexe DCTC BP . . . 56
43 Age actuariel des assurés aux capitaux sous risque élevés DCTC BP . . . 57
44 CSR maximaux par âge et sexe DCTC CE . . . 57
45 Nombre de tête ayant des CSR élevés par âge et sexe DCTC CE . . . 58
46 Age actuariel des assurés aux capitaux sous risque élevés DCTC CE . . . 58
47 CSR maximaux par âge et sexe DCAC BPCE . . . 59
48 Nombre de tête ayant des CSR élevés par âge et sexe DCAC BPCE . . . 59
49 Age actuariel des assurés aux capitaux élevés DCAC BPCE . . . 60
50 CSR maximaux par âge et sexe AT BPCE . . . 60
51 Nombre de tête ayant des CSR élevés par âge et sexe AT BPCE . . . 61
52 Statistiques a priori sinistres graves AT . . . 61
53 Convergence de la charge de sinistre moyenne DCTC pour le réseau BP vers la charge de sinistre déterministe . . . 63
54 Charges simulées DCTC BP . . . 64
55 Convergence de la charge de sinistre moyenne DCTC pour le réseau CE vers la charge de sinistre déterministe . . . 66
56 Convergence de la charge de sinistres moyenne DCAC pour BPCE vers la charge de sinistres déterministe . . . 68
57 Charges simulées DCAC BPCE . . . 68

58 Convergence de la charge de sinistres moyenne AT pour BPCE vers la charge de sinistres déterministe . . . 71
59 Charges simulées AT - BPCE . . . 72
60 Exemple de loi Gamma . . . 75
61 Comparaison des méthodes de régression . . . 80
62 Convergence de la charge de sinistres moyenne MAV vers la charge de sinistres déterministe . . . 82
63 Charges simulées MAV . . . 82
64 Illustration de plusieurs simulations de charge tout périmètre de risque confondu . . . 84
65 Description des 150 charges totales simulées a priori . . . 85
66 Convergence de l'assiette de prime moyenne vers l'assiette de prime déterministe . . . 87
67 Distribution a priori des soldes de réassurance simulés . . . 89
68 Distribution a priori des S/P bruts et nets de réassurance simulés . . . 90
69 Schéma du bilan économique sous Solvabilité II . . . 91
70 Schéma des modules et sous-modules S2 - ACPR . . . 92
71 Graphique gain SCR et coût de réassurance - BPCE Vie . . . 96
72 Graphique gain SCR et coût de réassurance - BPCE Prévoyance . . . 96
73 Distribution des écarts relatifs entre S/P brut et net simulés, sans section A . . . 99
74 Comparaison des volatilités du résultat brut et net . . . 100
75 CRT assureur et réassureur . . . 101
76 Les différentes métriques pour les structures de réassurance testées . . . 110
77 Les différentes métriques pour les structures de réassurance testées . . . 111
78 Volatilité en fonction du résultat espéré pour les différentes structures de réassurance . . . 112
79 Densité des primes annuelles hors taxes du périmètre MAV en 2020 . . . 121
80 Triangle de développement théorique . . . 121
81 Densité des charges des 3 scénarios simulés DCTC - BP . . . 123
82 Densité des charges des 3 scénarios simulés DCTC - CE . . . 123
83 Densité des charges des 3 scénarios simulés DCAC - BPCE . . . 124
84 Densité des charges des 3 scénarios simulés AT - BPCE . . . 124
85 Densité des charges des 3 scénarios simulés MAV . . . 124
86 Code R - Assiette de prime simulée . . . 125
87 Tables de mortalité réglementaires . . . 126
88 Extrait de la table TH 002 en nombre de commutation . . . 127
89 Extrait de la table TF 002 en nombre de commutation . . . 128

Liste des tableaux

1 Tableau des principaux risques couverts . . . 4
2 Tableau des produits des deux réseaux BP et CE . . . 4
3 Exemple QP - Tableau d'illustration . . . 9
4 Exemple XP - Tableau d'illustration . . . 10
5 Exemple XS - Tableau d'illustration . . . 11
6 Tableau des écarts en nombre de contrats et têtes assurées par réseau et risque en 2020 . . . 18
7 Tableau des écarts en nombre de contrats et têtes assurées par réseau et risque en 2019 . . . 19
8 Tableau des écarts des montants de prestation par année pour le risque DCTC . . . 19
9 Tableau des écarts des montants de prestation par année pour le risque DCAC . . . 20
10 Tableau des écarts des montants de prestation par année pour le risque AT . . . 20
11 Tableau des écarts des montants garantis 2020 - périmètre DCAT . . . 21
12 Tableau des écarts des montants garantis 2020 - périmètre MAV . . . 21
13 Tableau des écarts des montants de primes annuelles HT 2020 - périmètre DCAT . . . 22
14 Tableau des écarts des montants de primes annuelles HT 2020 - périmètre MAV . . . 22
15 Distribution des états des contrats du périmètre DCAT entre 2016 et 2020 . . . 23
16 Distribution des primes du périmètre DCAT dans les 5 dernières années . . . 25
17 Distribution des montants garantis du périmètre DCAT dans les 5 dernières années . . . 26
18 Distribution des montants garantis du périmètre DCAT dans les 5 dernières années . . . 26
19 Distribution des prestations du périmètre DCAT en 2020 . . . 27
20 Distribution des prestations du périmètre DCAT en 2019 . . . 27
21 Tableau récapitulatif des cumuls de garanties par tête sur le périmètre DCAT . . . 29
22 Distribution des états des contrats du périmètre MAV entre 2016 et 2020 . . . 31
23 Poids des cumuls par risques au sein du portefeuille PI . . . 34
24 Poids des cumuls de risques parmi les cumuls possibles . . . 36
25 Charge de sinistres cédée a posteriori DCTC - BP . . . 38
26 Efficacité de la QP a posteriori DCTC - BP . . . 39
27 Efficacité de la section A a posteriori DCTC - BP . . . 40
28 Charge de sinistres cédée a posteriori DCTC- CE . . . 41
29 Charge de sinistres cédée a posteriori DCAC - BPCE . . . 41
30 Efficacité de la QP a posteriori DCAC . . . 42
31 Efficacité de la section A a posteriori DCAC . . . 43
32 Charge de sinistres cédée a posteriori AT - BPCE . . . 44
33 Efficacité de la QP a posteriori - MAV . . . 45
34 Déclenchement de la section B et montant pris en charge a posteriori . . . 47
35 efficacité de la section B a posteriori . . . 48
36 Primes cédées à la réassurance les 5 dernières années . . . 49
37 Solde de réassurance par année de survenance . . . 50
38 S/P brut et net de réassurance par année de survenance . . . 51
39 Résultat brut et net de réassurance par année de survenance . . . 53
40 Marge brute, nette et cédée par année de survenance . . . 54
41 Trois scénarios possibles pour le DCTC BP . . . 64
42 Fréquence de déclenchement de la section A - DCTC BP . . . 65
43 Charges cédées a priori, QP et section A - DCTC BP . . . 65
44 Trois scénarios possibles pour le DCTC CE . . . 66
45 Fréquence de déclenchement de la section A - DCTC CE . . . 67
46 Charges cédées a priori, QP et section A - DCTC CE . . . 67
47 Trois scénarios possibles pour le DCAC . . . 69
48 Fréquence de déclenchement de l'XS Tête DCAC . . . 69
49 Charges cédées a priori, QP et section A - DCAC . . . 70
50 Fréquence de déclenchement de l'XS Tête AT . . . 72
51 Trois scénarios possibles pour la MAV . . . 83
52 Extrait de la base de sinistres simulés construite . . . 84
53 Trois scénarios possibles pour les risques DCTC, DCAC, AT et MAV regroupés . . . 86
54 Comparaison des assiettes de primes simulées et estimées par le réassureur . . . 88
55 Comparaison des primes cédées simulées et estimées par le réassureur . . . 88
56 Matrice de corrélation des modules de SCR (Cordani, 2020) . . . 93
57 Gain en SCR . . . 95
58 Ratio S2 brut et net de réassurance . . . 96
59 Comparaison des statistiques des sinistres graves avec et sans section A par groupe de risque . . . 98
60 Prime cédée avec le plan de réassurance amputé de la section A . . . 99

61 Commission à reverser aux banques brute et nette de réassurance 104

Bibliographie

[1] ACPR https ://acpr.banque-france.fr, site officiel

[2] ASTESAN Eugène , 1938. Université de Paris. Faculté de droit. Les Réserves techniques des sociétés d'assurances contre les accidents d'automobiles, thèse pour le doctorat... présentée... par Eugène Astesan... R. Pichon et R. Durand-Auzias

[3] BROWNLEE Jason , 2021. https ://machinelearningmastery.com/

[4] BAGGING BOOSTING, 2017. *Random forest : many are better than one* https ://quantdare.com/

[5] BREIMAN L., OLSHEN L., FRIEDMAN R., STONE J., 1984. *Classification and regression trees, Chapman Hall*

[6] BIERNAT Eric & LUTZ Michel, 2015. *Data science : Fondamentaux et études de cas*

[7] CABRIGNAC O. *Solvabilité 2 : Une nouvelle perception du risque, un nouvel enjeu pour la réassurance.* Pésentation SCOR Global Life, 2017

[8] CHARPENTIER A. & PLANCHET F. , *Estimer une Tail VaR, approche par simulation*, http ://www.lynxial.fr/site.nsf/0/EA7B01276EE86A9FC125713800723539/$FILE/Support3.pdf ?OpenElement, ISFA, WINTER Associés, ENSAE, CEA

[9] CLEMENÇONS Stéphane , *Introduction au Machine Learning*, https ://moodle.polytechnique.fr/pluginfile.php/219924/mod_resource/content/1/M2DS_session1.pdf, Telecom Paris

[10] Code des assurances https ://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGITEXT000006073984/

[11] CORDANI Alain, 2020. *Optimisation de la Réassurance en Prévoyance Individuelle*

[12] Cours de *Machine Learning*, http ://eric.univ-lyon2.fr/

[13] IA, https ://www.institutdesactuaires.com, consultations très régulières de mémoires d'actuariat entre février 2021 et septembre 2021

[14] IFRS 17, http ://www.focusifrs.com, consulté le 10 août 2021

[15] ISENBART J., 2015. https ://www.institutdesactuaires.com/global/gene/link.php ?doc_id=3597fg=1

[16] KAMEGA Aymeric, 2014. *Introduction à solvabilité 2, applications de mesure de risque*, mémoire d'actuariat

[17] KOLF, R., KORN, E., KROISANDT, G., 2010. *Monte Carlo methods and models in finance and insurance, CRC Press*

[18] LEGRAND Frédéric, *Principe des méthodes de Monte Carlo*, https ://www.f-legrand.fr/scidoc/docimg/numerique/montecarlo/principe/principe.html, consulté entre avril et juillet 2020

[19] Lexique *Machine Learning*, https ://dataanalyticspost.com/Lexique, consultations régulières depuis juillet 2021

[20] MLYNARCZYK Evelyne, 2014. *Technique et pratique de la réassurance*, L'Argus Editions

[21] NELDER J., WEDDERBURN R., 1972. *« Generalized linear models », Journal of Roy. Stat. Soc. B, vol. 135, 370-384*

[22] Règlementation Solvabilité 2, 2016. https ://acpr.banque-france.fr/europe-et-international/assurances/reglementation-europeenne/solvabilite-ii

[23] SCHMIDT, KLAUS D., 2016. *« Chain Ladder Method (Basics) »*, Dans EAA Series, pp. 53–59. Cham : Springer International Publishing, 2016. http ://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-30056-6_6.

[24] SCHUTZ S., 2018. *L'algorithme de Newton Raphson* https ://dridk.me/newton-raphson.htmlhttp ://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-30056-6_6

[25] S. TUFFERY, 2015. *Modélisation prédictive et apprentissage statistique avec R*, Éditions TECHNIP

A Densité des montants de primes MAV 2020

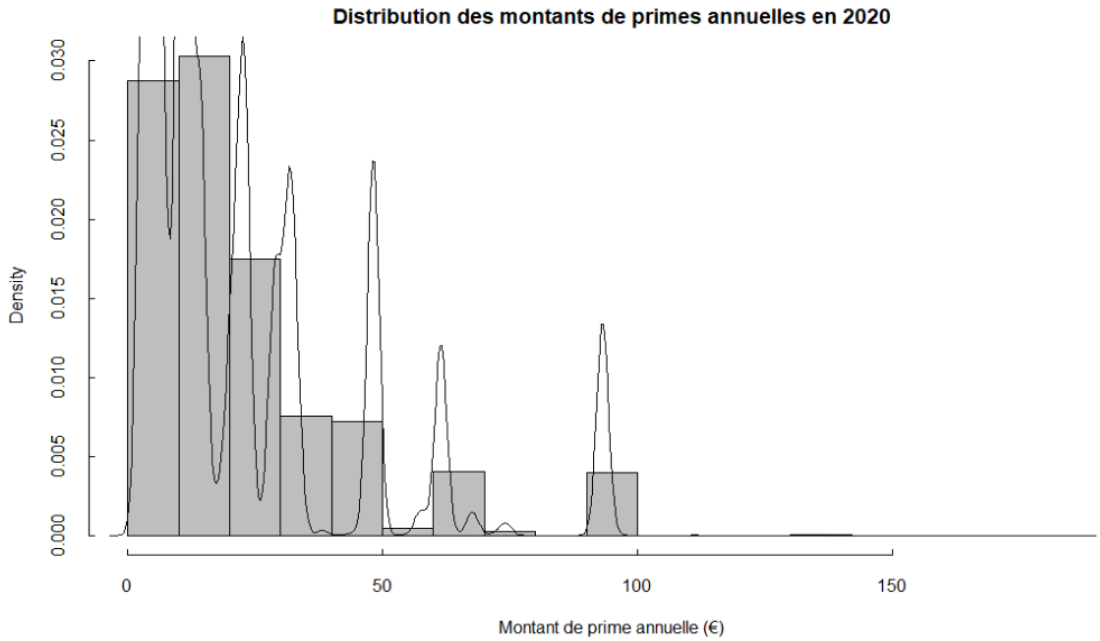

FIGURE 79 – Densité des primes annuelles hors taxes du périmètre MAV en 2020

B Méthode Chain Ladder

Triangle de développement : Pour formaliser le triangle développement, puis la méthode Chain Ladder, les notions suivantes sont fixées :

- $i \in [0, n]$ correspond à l'année de survenance du sinistre
- $j \in [0, n]$ correspond à l'année de développement du sinistre
- n est considérée comme étant la dernière année d'observation.
- $Y_{i,j,k}$ correspond au paiement réglé pendant l'année de développement j pour le k-ième sinistre survenu l'année i
- $X_{i,j} = \sum_k Y_{i,j,k}$ correspond au cumul des règlements durant l'année de développement j pour les sinistres survenus l'année i.

Ci-dessous un triangle de développement théorique est illustré, il comporte les valeurs agrégées et cumulées des paiements :

$i \backslash j$	0	1	$\cdots$	j	$\cdots$	$n-1$	n
0	$X_{0,0}$	$X_{0,1}$	$\cdots$	$X_{0,j}$	$\cdots$	$X_{0,n-1}$	$X_{0,n}$
1	$X_{1,0}$	$X_{1,1}$	$\cdots$	$X_{0,0}$	$\cdots$	$X_{1,n-1}$	
$\vdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\iddots$		
i	$X_{i,0}$	$X_{i,1}$	$\cdots$	$X_{i,j}$			
$\vdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\iddots$				
$n-1$	$X_{n-1,0}$	$X_{n-1,1}$					
n	$X_{n,0}$						

FIGURE 80 – Triangle de développement théorique

C'est E. Astesan [2] en 1938 qui a formalisé cette technique des tringles de développements qui a permis ensuite à la méthode populaire Chain Ladder d'exister.

Principe : La méthode Chain Ladder est une méthode d'estimation déterministe basée sur un triangle de développement. Elle repose sur l'idée que les sinistres survenus lors d'années de survenance différentes se développent de manière similaire.

Les règlement cumulés notés $C_{i,j}$ sont définis comme :

$$C_{i,j} = \sum_{l=0}^{j} X_{i,l}$$

Où $X_{i,l}$ est le paiement pour une année de survenance i fixée,
et l correspond à une année de développement des sinistres.

A l'ultime, le coût total des sinistres survenus l'année i noté S_i est obtenu comme : $S_i = C_{i,n}$.

Hypothèse 1 : Pour $1 \leq i, j \leq n$, soient $(C_{i,j})_{0 \leq i,j \leq n}$ les règlements cumulés. Si les ratios $\frac{C_{i,j}}{C_{i,j+1}}$ ne dépendent pas de l'année de survenance i, pour tout $i = 0, ..., n-1$ et $j = 0, ..., n-1$, alors il existe des paramètres $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n$ tels que $C_{i,j+1} = \lambda_j C_{i,j}$

Les sinistres se déroulent de la même manière peu importe l'année de survenance.

$\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n$ sont appelés facteurs de développement ou encore *link ratios*. Le facteur de développement lié à l'année de développement j est estimé par :

$$\forall j = 0, ..., n-1, \lambda_j^* = \frac{\sum_{i=0}^{n-j-1} C_{i,j+1}}{\sum_{i=0}^{n-j-1} C_{i,j}}$$

Sous l'hypothèse 1, λ_j^* est estimé par une moyenne pondérée :

$$\forall j = 0, ..., n-1, \lambda_j^* = \sum_{i=0}^{n-j-1} \frac{C_{i,j}}{\sum_{i=0}^{n-j-1} C_{i,j}} \frac{C_{i,j+1}}{C_{i,j}}$$

Lorsque les facteurs de développement sont estimés, les règlements cumulés sont ensuite déterminés par :

$$C_{i,j}^* = \prod_{k=j-1}^{n-i} \lambda_k^* C_{i,n-i}$$

Le triangle des règlements peut alors être compléter grâce aux $C_{i,j}^*$, le règlement obtenu à l'ultime est $C_{i,n}^*$.

Cadence des règlements : c'est le rythme de paiement des sinistres d'un exercice donné. Cette cadence révèle deux informations importantes sur la liquidation des sinistres survenus lors d'un même exercice, à savoir le nombre d'années impliquées dans la liquidation de ces sinistres et le pourcentage de paiement des sinistres pour chaque année.

La cadence des règlements $Cadence_j$ peut être obtenue pour l'année de développement j à partir des facteurs de développement de la méthode Chain Ladder comme :

$$Cadence_j = \frac{1}{\lambda_j * \lambda_{j+1} * ... * \lambda_{n-1}} \text{ pour } j = n-i, ..., n-1$$

C Densité des charges des 3 scénarios simulés par périmètre

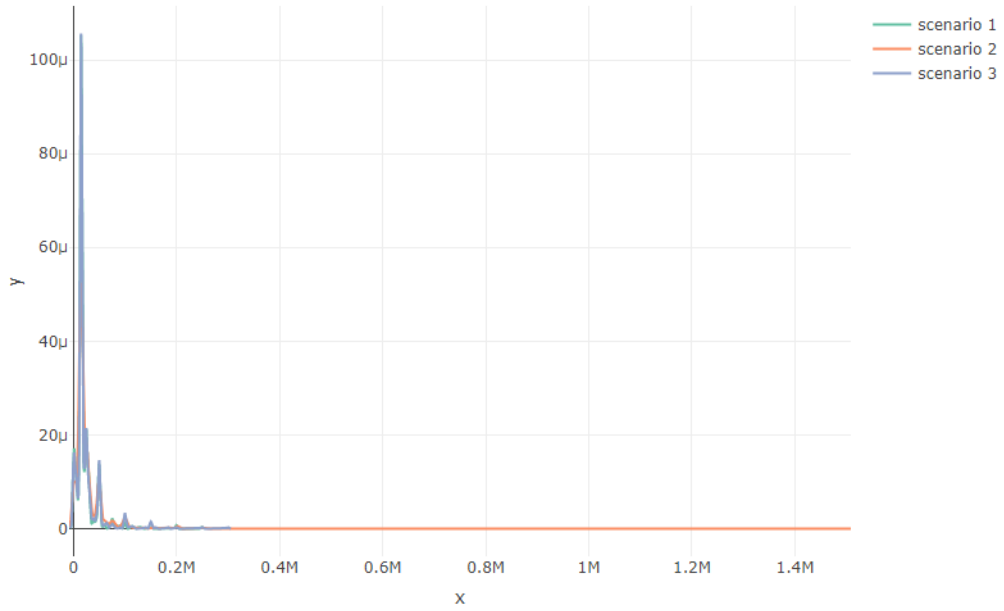

FIGURE 81 – Densité des charges des 3 scénarios simulés DCTC - BP

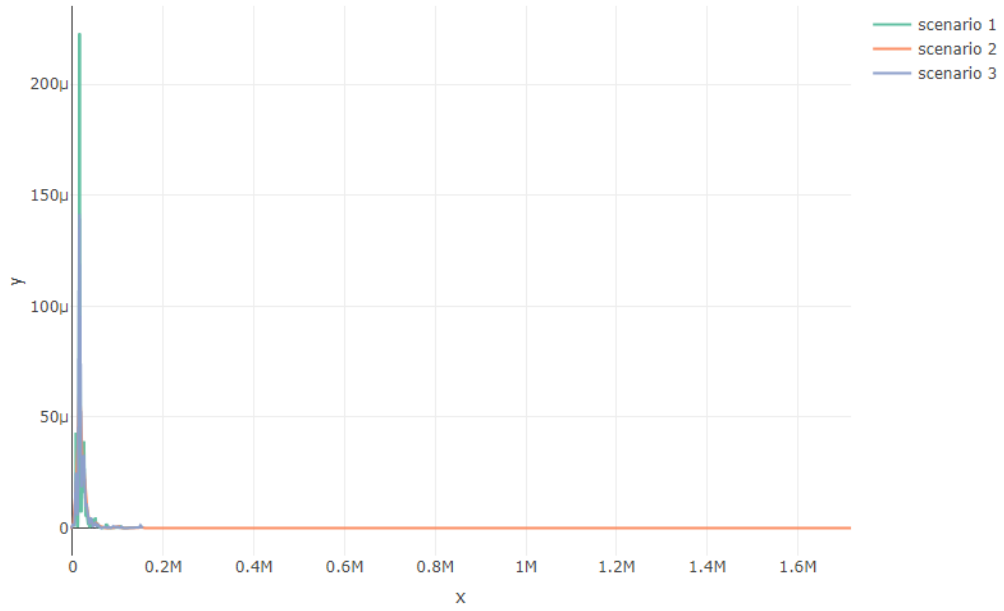

FIGURE 82 – Densité des charges des 3 scénarios simulés DCTC - CE

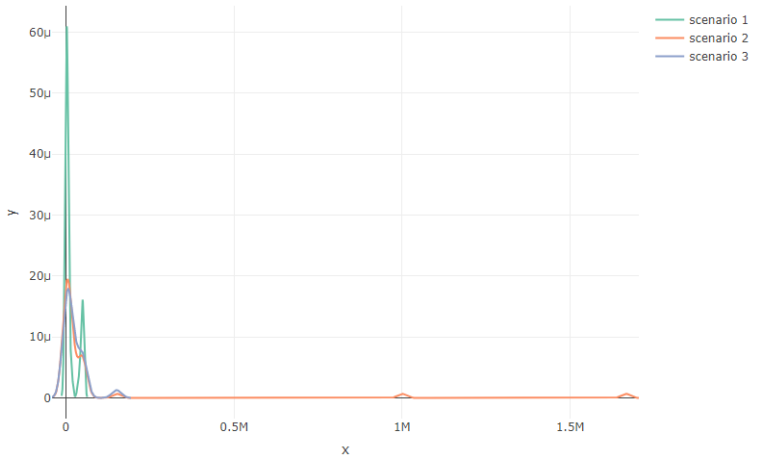

FIGURE 83 – Densité des charges des 3 scénarios simulés DCAC - BPCE

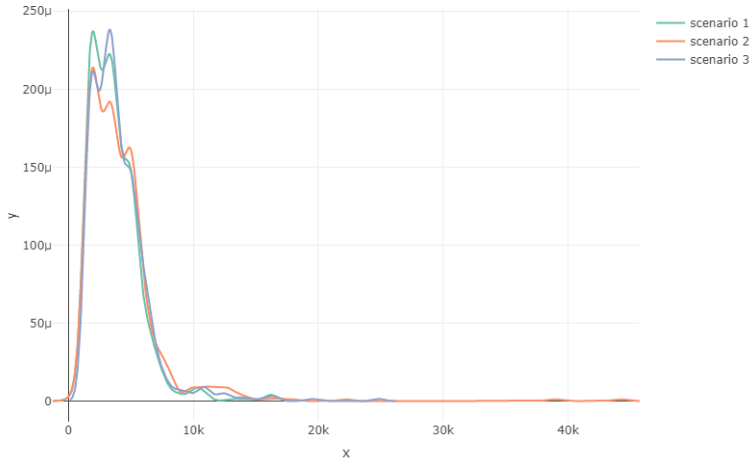

FIGURE 84 – Densité des charges des 3 scénarios simulés AT - BPCE

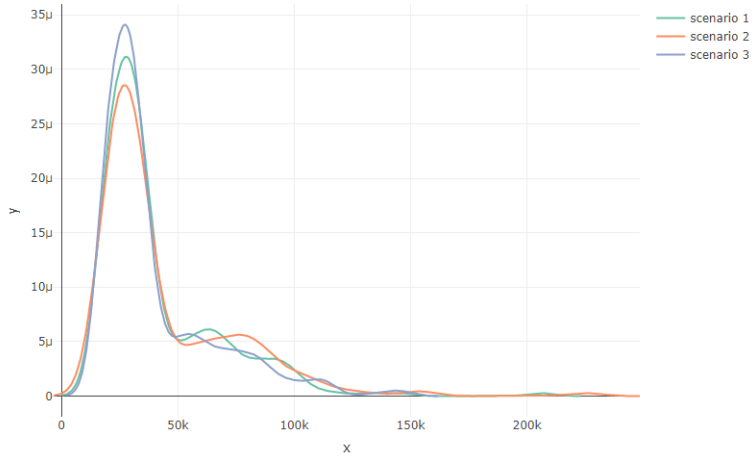

FIGURE 85 – Densité des charges des 3 scénarios simulés MAV

D Code R : simulation de l'assiette de prime 2021 sur le principe de Monte Carlo

```{r}
#### Méthode 1
#### Fonction qui calcule la moyenne des montants de primes simulés

Flux_prime_moyen = function(N , len , qx, primes_ann){ #où N correspond au nombre d'itérations

flux_prime <- vector(mode = "numeric", length = N)

  for (i in 1:N) {
  stoc <- rbinom(len,1,qx) # stoc = 1 si dc et 0 si vivant

  flux_prime[i] <- sum(primes_ann) - 1/2 * sum(stoc*primes_ann) # on retire la moitié des primes annuelles des personnes décédées dans la simulation
  }

  flux_prime_mean <- mean(flux_prime)
  return(flux_prime_mean)
}


resultat_prime=function(Nb_iterations, len , qx, primes_ann){

mnt_prime_mc <- vector(mode = "numeric", length = Nb_iterations-1)

  for (i in 1:Nb_iterations){

    primes_futures<- Flux_prime_moyen(i, len , qx, primes_ann)

    mnt_prime_mc[i] <- primes_futures

    }

  return(mnt_prime_mc)
}

# Fonction qui renvoie l'assiette de prime simulée 2021

Prime_simulee_2021 = function(base_valides, N){

## Monte Carlo

  qx <- base_valides$qx
  len <- nrow(base_valides)
  primes_ann <- base_valides$mnt_prime_ann

  return(mean(resultat_prime(N, len, qx, primes_ann)))
}

```

FIGURE 86 – Code R - Assiette de prime simulée

E Tables de mortalité réglementaires TH 002 et TF 002 et leurs nombres de commutation

TH00/02		
Age	lx	qx
0	100 000	0,489%
1	99 511	0,038%
2	99 473	0,027%
3	99 446	0,022%
4	99 424	0,018%
5	99 406	0,016%
6	99 390	0,014%
7	99 376	0,013%
8	99 363	0,013%
9	99 350	0,012%
10	99 338	0,013%
11	99 325	0,013%
12	99 312	0,016%
13	99 296	0,020%
14	99 276	0,026%
15	99 250	0,037%
16	99 213	0,050%
17	99 163	0,067%
18	99 097	0,083%
19	99 015	0,095%
20	98 921	0,102%
21	98 820	0,105%
22	98 716	0,105%
23	98 612	0,104%
24	98 509	0,105%
25	98 406	0,105%
26	98 303	0,107%
27	98 198	0,109%
28	98 091	0,111%
29	97 982	0,114%
30	97 870	0,116%
31	97 756	0,120%
32	97 639	0,125%
33	97 517	0,132%
34	97 388	0,143%
35	97 249	0,153%
36	97 100	0,166%
37	96 939	0,179%
38	96 765	0,195%
39	96 576	0,214%
40	96 369	0,237%
41	96 141	0,264%
42	95 887	0,293%
43	95 606	0,325%
44	95 295	0,360%
45	94 952	0,397%
46	94 575	0,435%
47	94 164	0,472%
48	93 720	0,508%
49	93 244	0,545%
50	92 736	0,582%
51	92 196	0,624%
52	91 621	0,668%
53	91 009	0,715%
54	90 358	0,767%
55	89 665	0,821%
56	88 929	0,875%

TH00/02		
Age	lx	qx
57	88 151	0,932%
58	87 329	0,995%
59	86 460	1,066%
60	85 538	1,146%
61	84 558	1,235%
62	83 514	1,335%
63	82 399	1,448%
64	81 206	1,576%
65	79 926	1,719%
66	78 552	1,876%
67	77 078	2,046%
68	75 501	2,232%
69	73 816	2,434%
70	72 019	2,658%
71	70 105	2,903%
72	68 070	3,167%
73	65 914	3,455%
74	63 637	3,768%
75	61 239	4,117%
76	58 718	4,506%
77	56 072	4,938%
78	53 303	5,426%
79	50 411	5,993%
80	47 390	6,660%
81	44 234	7,433%
82	40 946	8,304%
83	37 546	9,253%
84	34 072	10,264%
85	30 575	11,352%
86	27 104	12,533%
87	23 707	13,802%
88	20 435	15,155%
89	17 338	16,576%
90	14 464	18,059%
91	11 852	19,625%
92	9 526	21,289%
93	7 498	23,059%
94	5 769	24,926%
95	4 331	26,899%
96	3 166	28,964%
97	2 249	31,125%
98	1 549	33,376%
99	1 032	35,756%
100	663	38,160%
101	410	40,488%
102	244	43,033%
103	139	46,043%
104	75	48,000%
105	39	51,282%
106	19	52,632%
107	9	55,556%
108	4	50,000%
109	2	50,000%
110	1	100,000%
111	0	

TF00/02		
Age	lx	qx
0	100 000	0,384%
1	99 616	0,033%
2	99 583	0,021%
3	99 562	0,017%
4	99 545	0,014%
5	99 531	0,012%
6	99 519	0,011%
7	99 508	0,010%
8	99 498	0,010%
9	99 488	0,010%
10	99 478	0,011%
11	99 467	0,011%
12	99 456	0,012%
13	99 444	0,013%
14	99 431	0,016%
15	99 415	0,020%
16	99 395	0,024%
17	99 371	0,029%
18	99 342	0,033%
19	99 309	0,035%
20	99 274	0,035%
21	99 239	0,034%
22	99 205	0,034%
23	99 171	0,034%
24	99 137	0,034%
25	99 103	0,035%
26	99 068	0,035%
27	99 033	0,036%
28	98 997	0,037%
29	98 960	0,039%
30	98 921	0,042%
31	98 879	0,047%
32	98 833	0,052%
33	98 782	0,058%
34	98 725	0,064%
35	98 662	0,070%
36	98 593	0,076%
37	98 518	0,084%
38	98 435	0,093%
39	98 343	0,103%
40	98 242	0,114%
41	98 130	0,125%
42	98 007	0,138%
43	97 872	0,151%
44	97 724	0,165%
45	97 563	0,180%
46	97 387	0,195%
47	97 197	0,210%
48	96 993	0,224%
49	96 776	0,238%
50	96 546	0,251%
51	96 304	0,265%
52	96 049	0,282%
53	95 778	0,302%
54	95 489	0,324%
55	95 180	0,346%
56	94 851	0,369%

TF00/02		
Age	lx	qx
57	94 501	0,392%
58	94 131	0,414%
59	93 741	0,440%
60	93 329	0,468%
61	92 892	0,503%
62	92 425	0,543%
63	91 923	0,589%
64	91 382	0,640%
65	90 797	0,697%
66	90 164	0,763%
67	89 476	0,838%
68	88 726	0,923%
69	87 907	1,020%
70	87 010	1,133%
71	86 024	1,259%
72	84 941	1,401%
73	83 751	1,563%
74	82 442	1,752%
75	80 998	1,970%
76	79 402	2,228%
77	77 633	2,527%
78	75 671	2,874%
79	73 496	3,276%
80	71 088	3,749%
81	68 423	4,304%
82	65 478	4,956%
83	62 233	5,709%
84	58 680	6,564%
85	54 828	7,518%
86	50 706	8,567%
87	46 362	9,693%
88	41 868	10,865%
89	37 319	12,053%
90	32 821	13,260%
91	28 469	14,546%
92	24 328	15,965%
93	20 444	17,531%
94	16 860	19,229%
95	13 618	21,060%
96	10 750	23,005%
97	8 277	25,045%
98	6 204	27,208%
99	4 516	29,473%
100	3 185	31,837%
101	2 171	34,316%
102	1 426	36,886%
103	900	39,556%
104	544	42,279%
105	314	45,223%
106	172	48,256%
107	89	50,562%
108	44	54,545%
109	20	55,000%
110	9	55,556%
111	4	75,000%
112	1	100,000%
113	0	

FIGURE 87 – Tables de mortalité réglementaires

			TH00-02		Taux technique=0,50%				
Age	Dx	Nx	Sx	Cx	Mx	Rx	äx	Ax	1000Px
0	100 000,000	6 295 131,797	235 219 841,565	486,567	68 680,936	5 124 883,829	62,95132	0,68681	10,910
1	99 015,920	6 195 131,797	228 924 709,768	37,623	68 194,369	5 056 202,893	62,56703	0,68872	11,008
2	98 485,681	6 096 115,877	222 729 577,970	26,599	68 156,746	4 988 008,524	61,89850	0,69205	11,180
3	97 969,104	5 997 630,196	216 633 462,094	21,565	68 130,147	4 919 851,777	61,21961	0,69542	11,360
4	97 460,130	5 899 661,092	210 635 831,898	17,557	68 108,582	4 851 721,630	60,53410	0,69884	11,544
5	96 957,697	5 802 200,963	204 736 170,806	15,528	68 091,025	4 783 613,048	59,84260	0,70228	11,735
6	96 459,792	5 705 243,266	198 933 969,843	13,520	68 075,497	4 715 522,023	59,14634	0,70574	11,932
7	95 966,373	5 608 783,474	193 228 726,578	12,492	68 061,977	4 647 446,526	58,44530	0,70923	12,135
8	95 476,437	5 512 817,101	187 619 943,104	12,429	68 049,486	4 579 384,549	57,74008	0,71274	12,344
9	94 989,000	5 417 340,665	182 107 126,002	11,416	68 037,056	4 511 335,063	57,03124	0,71626	12,559
10	94 505,002	5 322 351,665	176 689 785,337	12,306	68 025,640	4 443 298,007	56,31820	0,71981	12,781
11	94 022,522	5 227 846,663	171 367 433,672	12,245	68 013,334	4 375 272,366	55,60207	0,72337	13,010
12	93 542,503	5 133 824,142	166 139 587,009	14,996	68 001,089	4 307 259,032	54,88226	0,72695	13,246
13	93 062,122	5 040 281,639	161 005 762,867	18,651	67 986,094	4 239 257,943	54,16040	0,73055	13,489
14	92 580,475	4 947 219,517	155 965 481,229	24,126	67 967,443	4 171 271,849	53,43696	0,73414	13,739
15	92 095,750	4 854 639,041	151 018 261,712	34,162	67 943,317	4 103 304,406	52,71295	0,73775	13,996
16	91 603,400	4 762 543,291	146 163 622,671	45,935	67 909,155	4 035 361,089	51,99090	0,74134	14,259
17	91 101,726	4 670 939,891	141 401 079,380	60,333	67 863,220	3 967 451,934	51,27169	0,74492	14,529
18	90 588,151	4 579 838,165	136 730 139,489	74,586	67 802,887	3 899 588,715	50,55670	0,74847	14,805
19	90 062,877	4 489 250,014	132 150 301,324	85,076	67 728,300	3 831 785,828	49,84573	0,75201	15,087
20	89 529,728	4 399 187,136	127 661 051,310	90,957	67 643,224	3 764 057,528	49,13661	0,75554	15,376
21	88 993,349	4 309 657,409	123 261 864,174	93,192	67 552,268	3 696 414,303	48,42674	0,75907	15,675
22	88 457,404	4 220 664,059	118 952 206,765	92,729	67 459,076	3 628 862,035	47,71408	0,76262	15,983
23	87 924,589	4 132 206,655	114 731 542,706	91,380	67 366,347	3 561 402,960	46,99717	0,76618	16,303
24	87 395,773	4 044 282,066	110 599 336,051	90,925	67 274,967	3 494 036,613	46,27549	0,76977	16,635
25	86 870,043	3 956 886,293	106 555 053,985	90,473	67 184,041	3 426 761,646	45,54949	0,77339	16,979
26	86 347,380	3 870 016,250	102 598 167,692	91,771	67 093,568	3 359 577,605	44,81915	0,77702	17,337
27	85 826,020	3 783 668,870	98 728 151,442	93,054	67 001,797	3 292 484,037	44,08534	0,78067	17,708
28	85 305,971	3 697 842,850	94 944 482,572	94,322	66 908,743	3 225 482,240	43,34800	0,78434	18,094
29	84 787,242	3 612 536,878	91 246 639,722	96,435	66 814,422	3 158 573,497	42,60708	0,78802	18,495
30	84 268,980	3 527 749,636	87 634 102,844	97,669	66 717,986	3 091 759,075	41,86297	0,79173	18,912
31	83 752,062	3 443 480,656	84 106 353,208	99,741	66 620,317	3 025 041,088	41,11517	0,79545	19,347
32	83 235,644	3 359 728,594	80 662 872,551	103,486	66 520,577	2 958 420,771	40,36406	0,79918	19,799
33	82 718,051	3 276 492,950	77 303 143,957	108,879	66 417,091	2 891 900,194	39,61037	0,80293	20,271
34	82 197,640	3 193 774,899	74 026 651,007	116,735	66 308,212	2 825 483,103	38,85482	0,80669	20,762
35	81 671,961	3 111 577,259	70 832 876,108	124,511	66 191,477	2 759 174,890	38,09848	0,81046	21,273
36	81 141,122	3 029 905,298	67 721 298,849	133,869	66 066,966	2 692 983,413	37,34118	0,81422	21,805
37	80 603,565	2 948 764,176	64 691 393,551	143,959	65 933,096	2 626 916,447	36,58355	0,81799	22,360
38	80 058,593	2 868 160,612	61 742 629,375	155,591	65 789,137	2 560 983,351	35,82577	0,82176	22,938
39	79 504,700	2 788 102,018	58 874 468,763	169,562	65 633,546	2 495 194,214	35,06839	0,82553	23,541
40	78 939,593	2 708 597,318	56 086 366,745	185,834	65 463,984	2 429 560,667	34,31228	0,82929	24,169
41	78 361,024	2 629 657,725	53 377 769,427	205,996	65 278,150	2 364 096,683	33,55824	0,83304	24,824
42	77 765,172	2 551 296,701	50 748 111,702	226,760	65 072,154	2 298 818,533	32,80770	0,83678	25,506
43	77 151,521	2 473 531,529	48 196 815,001	249,720	64 845,394	2 233 746,380	32,06070	0,84049	26,216
44	76 517,962	2 396 380,008	45 723 283,472	274,045	64 595,674	2 168 900,986	31,31788	0,84419	26,956
45	75 863,231	2 319 862,045	43 326 903,464	299,711	64 321,629	2 104 305,312	30,57953	0,84786	27,726
46	75 186,092	2 243 998,814	41 007 041,419	325,115	64 021,918	2 039 983,682	29,84593	0,85151	28,530
47	74 486,916	2 168 812,722	38 763 042,605	349,472	63 696,803	1 975 961,764	29,11669	0,85514	29,369
48	73 766,863	2 094 325,806	36 594 229,882	372,795	63 347,332	1 912 264,961	28,39115	0,85875	30,247
49	73 027,069	2 020 558,943	34 499 904,077	395,877	62 974,537	1 848 917,629	27,66863	0,86235	31,167
50	72 267,873	1 947 531,874	32 479 345,134	418,721	62 578,660	1 785 943,092	26,94879	0,86593	32,132
51	71 489,610	1 875 264,001	30 531 813,260	443,642	62 159,939	1 723 364,433	26,23128	0,86950	33,147
52	70 690,299	1 803 774,391	28 656 549,259	469,840	61 716,297	1 661 204,494	25,51658	0,87305	34,215
53	69 868,765	1 733 084,092	26 852 774,868	497,294	61 246,456	1 599 488,197	24,80485	0,87659	35,340
54	69 023,865	1 663 215,327	25 119 690,776	526,744	60 749,162	1 538 241,741	24,09624	0,88012	36,525
55	68 153,719	1 594 191,462	23 456 475,449	556,645	60 222,418	1 477 492,579	23,39111	0,88363	37,776

FIGURE 88 – Extrait de la table TH 002 en nombre de commutation

			TF00-02		Taux technique=0,50%				
Age	Dx	Nx	Sx	Cx	Mx	Rx	äx	Ax	1000Px
0	100 000,000	6 810 334,811	273 948 162,394	382,090	66 117,737	5 447 408,630	68,10335	0,66118	9,708
1	99 120,398	6 710 334,811	267 137 827,583	32,672	65 735,648	5 381 290,893	67,69883	0,66319	9,796
2	98 594,589	6 611 214,413	260 427 492,772	20,688	65 702,975	5 315 555,245	67,05454	0,66640	9,938
3	98 083,381	6 512 619,824	253 816 278,359	16,664	65 682,287	5 249 852,270	66,39881	0,66966	10,085
4	97 578,740	6 414 536,443	247 303 658,535	13,655	65 665,623	5 184 169,983	65,73703	0,67295	10,237
5	97 079,618	6 316 957,703	240 889 122,092	11,646	65 651,968	5 118 504,360	65,06987	0,67627	10,393
6	96 584,989	6 219 878,085	234 572 164,389	10,623	65 640,322	5 052 852,392	64,39798	0,67961	10,553
7	96 093,844	6 123 293,097	228 352 286,304	9,609	65 629,699	4 987 212,070	63,72201	0,68298	10,718
8	95 606,156	6 027 199,253	222 228 993,207	9,561	65 620,090	4 921 582,371	63,04196	0,68636	10,887
9	95 120,942	5 931 593,097	216 201 793,954	9,513	65 610,529	4 855 962,281	62,35843	0,68976	11,061
10	94 638,190	5 836 472,155	210 270 200,857	10,413	65 601,016	4 790 351,752	61,67143	0,69318	11,240
11	94 156,941	5 741 833,964	204 433 728,702	10,361	65 590,603	4 724 750,737	60,98153	0,69661	11,423
12	93 678,137	5 647 677,023	198 691 894,738	11,247	65 580,242	4 659 160,134	60,28810	0,70006	11,612
13	93 200,830	5 553 998,886	193 044 217,715	12,123	65 568,995	4 593 579,892	59,59173	0,70352	11,806
14	92 725,021	5 460 798,055	187 490 218,829	14,847	65 556,872	4 528 010,897	58,89239	0,70700	12,005
15	92 248,856	5 368 073,034	182 029 420,773	18,466	65 542,025	4 462 454,025	58,19122	0,71049	12,210
16	91 771,441	5 275 824,178	176 661 347,739	22,049	65 523,559	4 396 912,000	57,48874	0,71399	12,420
17	91 292,817	5 184 052,737	171 385 523,562	26,510	65 501,510	4 331 388,441	56,78489	0,71749	12,635
18	90 812,114	5 092 759,919	166 201 470,825	30,016	65 475,000	4 265 886,930	56,08018	0,72099	12,856
19	90 330,296	5 001 947,805	161 108 710,906	31,677	65 444,984	4 200 411,930	55,37398	0,72451	13,084
20	89 849,215	4 911 617,509	156 106 763,101	31,520	65 413,307	4 134 966,946	54,66511	0,72803	13,318
21	89 370,684	4 821 768,294	151 195 145,592	30,467	65 381,787	4 069 553,639	53,95246	0,73158	13,560
22	88 895,587	4 732 397,610	146 373 377,298	30,315	65 351,320	4 004 171,852	53,23546	0,73515	13,809
23	88 423,005	4 643 502,023	141 640 979,689	30,164	65 321,005	3 938 820,532	52,51464	0,73873	14,067
24	87 952,926	4 555 079,017	136 997 477,666	30,014	65 290,841	3 873 499,526	51,78997	0,74234	14,334
25	87 485,335	4 467 126,091	132 442 398,649	30,743	65 260,827	3 808 208,685	51,06143	0,74596	14,609
26	87 019,341	4 379 640,757	127 975 272,558	30,590	65 230,083	3 742 947,858	50,32951	0,74960	14,894
27	86 555,819	4 292 621,416	123 595 631,801	31,308	65 199,493	3 677 717,775	49,59368	0,75327	15,189
28	86 093,885	4 206 065,597	119 303 010,385	32,017	65 168,185	3 612 518,282	48,85441	0,75694	15,494
29	85 633,540	4 119 971,712	115 096 944,788	33,580	65 136,168	3 547 350,097	48,11166	0,76064	15,810
30	85 173,922	4 034 338,173	110 976 973,075	35,983	65 102,588	3 482 213,929	47,36588	0,76435	16,137
31	84 714,188	3 949 164,251	106 942 634,903	39,214	65 066,604	3 417 111,341	46,61751	0,76807	16,476
32	84 253,510	3 864 450,063	102 993 470,652	43,260	65 027,390	3 352 044,737	45,86693	0,77181	16,827
33	83 791,078	3 780 196,553	99 129 020,588	48,109	64 984,130	3 287 017,346	45,11455	0,77555	17,191
34	83 326,098	3 696 405,475	95 348 824,035	52,909	64 936,021	3 222 033,217	44,36072	0,77930	17,567
35	82 858,631	3 613 079,378	91 652 418,560	57,659	64 883,112	3 157 097,196	43,60535	0,78306	17,958
36	82 388,739	3 530 220,747	88 039 339,182	62,362	64 825,452	3 092 214,084	42,84834	0,78682	18,363
37	81 916,484	3 447 832,007	84 509 118,435	68,670	64 763,091	3 027 388,632	42,08960	0,79060	18,784
38	81 440,269	3 365 915,524	81 061 286,427	75,738	64 694,421	2 962 625,542	41,32987	0,79438	19,220
39	80 959,356	3 284 475,255	77 695 370,904	82,733	64 618,683	2 897 931,121	40,56943	0,79816	19,674
40	80 473,840	3 203 515,899	74 410 895,649	91,287	64 535,950	2 833 312,438	39,80817	0,80195	20,145
41	79 982,185	3 123 042,059	71 207 379,750	99,754	64 444,663	2 768 776,488	39,04672	0,80574	20,635
42	79 484,510	3 043 059,874	68 084 337,691	108,941	64 344,909	2 704 331,825	38,28494	0,80953	21,145
43	78 980,123	2 963 575,364	65 041 277,817	118,838	64 235,967	2 639 986,917	37,52305	0,81332	21,675
44	78 468,349	2 884 595,240	62 077 702,454	128,633	64 117,129	2 575 750,949	36,76126	0,81711	22,227
45	77 949,326	2 806 126,891	59 193 107,213	139,918	63 988,496	2 511 633,820	35,99937	0,82090	22,803
46	77 421,601	2 728 177,564	56 386 980,323	150,296	63 848,578	2 447 645,324	35,23794	0,82469	23,403
47	76 886,122	2 650 755,963	53 658 802,759	160,568	63 698,282	2 383 796,746	34,47639	0,82848	24,030
48	76 343,036	2 573 869,841	51 008 046,795	169,951	63 537,714	2 320 098,464	33,71453	0,83227	24,686
49	75 793,269	2 497 526,805	48 434 176,954	179,236	63 367,763	2 256 560,750	32,95183	0,83606	25,372
50	75 236,953	2 421 733,535	45 936 650,149	187,649	63 188,527	2 193 192,987	32,18809	0,83986	26,092
51	74 674,991	2 346 496,583	43 514 916,614	196,746	63 000,878	2 130 004,460	31,42279	0,84367	26,849
52	74 106,728	2 271 821,592	41 168 420,031	208,050	62 804,133	2 067 003,582	30,65608	0,84748	27,645
53	73 529,987	2 197 714,864	38 896 598,439	220,765	62 596,082	2 004 199,449	29,88869	0,85130	28,482
54	72 943,401	2 124 184,877	36 698 883,575	234,869	62 375,317	1 941 603,367	29,12100	0,85512	29,364
55	72 345,630	2 051 241,476	34 574 698,697	248,826	62 140,449	1 879 228,050	28,35336	0,85894	30,294
56	71 736,875	1 978 895,846	32 523 457,222	263,392	61 891,622	1 817 087,601	27,58548	0,86276	31,276

FIGURE 89 – Extrait de la table TF 002 en nombre de commutation